



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática
Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas

**Sistema de optimización de rutas para el levantamiento
catastral de infraestructura en telecomunicaciones**

TESINA

Para optar el Título Profesional de Ingeniera de Sistemas

AUTOR

Hilda Haydee CHALCO CHIPAYO

ASESOR

Gabriel José SOLARI CARVAJAL

Lima, Perú

2008



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chalco, H. (2019). *Sistema de optimización de rutas para el levantamiento catastral de infraestructura en telecomunicaciones*. Tesina para optar el título profesional de Ingeniera de Sistemas. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mis padres, por enseñarme que en la vida las cosas se ganan con esfuerzo y dedicación, a mis hermanos por el apoyo que me brindaron en mi época de estudiante, a Neri por hacerme ver que en la vida se tiene que terminar todo lo que empezamos, a mi adorado Andree por esa sonrisa que me da día a día.

RESUMEN

SISTEMA DE OPTIMIZACION DE RUTAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CATASTRAL DE INFRAESTRUCTURA EN TELECOMUNICACIONES

Chalco Chipayo, Hilda Haydee

Mayo - 2008

Asesor : Solari Carvajal, Gabriel Jose

Grado : Título Profesional de Ingeniería de Sistema.

Este Proyecto brindará soporte a la toma de decisiones en la búsqueda de las Rutas para el Levantamiento de Información Catastral e Infraestructura de Telecomunicaciones, la presente investigación esta basada en los parámetros que maneja el Área de Diseño de la empresa ITETE PERU S.A, para realizar los trabajos de actualización digital de las redes de telecomunicaciones de Telefónica del Perú S.A. (TDP)

Para el presente trabajo se ha tomado como área de referencia el Distrito de Miraflores. Para el caso en estudio planteamos el problema desde el enfoque del Problema del Agente Viajero, donde tradicionalmente la optimización se ha efectuado desde el siguiente punto de vista, minimizar la distancia total recorrida, ciertamente

procediendo de esta forma, se consigue que la ruta sea menor, por lo tanto también se reduce el personal necesario para visitar la ruta, el tiempo de visita y con ello se reducen los costos.

Palabras Claves:

- TSP(TRAVELING SALESMAN PROBLEM)
- Levantamiento Catastral
- Optimización de Rutas
- Redes de Telecomunicaciones
- Infraestructura de Telecomunicaciones
- Actualización digital de Redes de Telecomunicaciones

ABSTRACT

SYSTEM OF OPTIMIZATION OF ROUTES FOR THE PROPERTY RAISING OF INFRASTRUCTURE IN TELECOMMUNICATIONS

Chalco Chipayo, Hilda Haydee

May - 2008

Adviser : Solari Carvajal, Gabriel Jose

Degree : Profesional Title in Systems Engineering

This Project will offer support to the capture of decisions in the search of the routes for the raising of property Information and Infrastructure of Telecommunications, the present investigation(research) these stocks in the parameters that the Area handles of Design of the company ITETE PERU S.A, to realize the works of digital update of the networks of telecommunications of Telefonica of Peru S.A. (TDP).

For the present work Miraflores's District has taken as an area of reference. For the case in study we consider the problem from the approach of the Problem of the Travelling Agent, where traditionally the optimization has been effected(been carried out) from the following point of view, minimizing the total crossed distance, certainly coming from this form, there is achieved that route is minor, therefore also the necessary personnel diminishes to visit the route, the time of visit and with it the costs diminish.

Key words:

-TSP (TRAVELING SALESMAN PROBLEM)

- Property raising
- Optimization of Routes
- Networks of Telecommunications
- Infrastructure of Telecommunications
- Digital update of Networks of Telecommunications

INDICE

RESUMEN	Pag. 04
INDICE DE CONTENIDOS.....	Pag. 07
INTRODUCCION.....	Pag. 10
CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y FORMULACION DEL PROBLEMA	
1.1 ANTECEDENTES.....	Pag. 12
1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	Pag. 12
1.3 OBJETIVOS.....	Pag. 14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	Pag. 14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	Pag. 14
1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	Pag. 14
1.4.1 LIMITACIONES Y ALCANCES.....	Pag. 15
1.4.2 VARIANTES DEL PROBLEMA.....	Pag. 15
1.5 HIPOTESIS	Pag. 16
1.6 PROPUESTA.....	Pag. 16
1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESINA.....	Pag. 16
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	
2.1 PROBLEMAS DE OPTIMIZACION.....	Pag. 17
2.2 PROBLEMAS DE OPTIMIZACION COMBINATORIA.....	Pag. 17
2.3 METODOS DE RESOLUCION PARA PROBLEMAS DE OPTIMIZACION	Pag. 18
2.3.1 HEURISTICA.....	Pag. 18
2.3.1.1 CLASIFICACION DE LOS METODOS HEURISTICOS.....	Pag. 19
2.3.1.2 MEDICION DE LA CALIDAD Y EFICIENCIA DE LOS METODOS HEURISTICOS.....	Pag. 19
2.3.2 METAHEURISTICOS.....	Pag. 20
2.3.2.1 METODOS METAHEURISTICOS	Pag. 21
2.4 TEORIA DE GRAFOS	Pag. 22
CAPITULO 3: ESTADO DEL ARTE	
3.1 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO.....	Pag. 24
3.1.1 HISTORIA DEL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO(TSP)	Pag. 24

3.2 VARIACIONES DEL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO(TSP)...	Pag. 25
3.2.1 EXTENSION DEL AGENTE VIAJERO	Pag. 25
3.2.2 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO SIMETRICO.....	Pag. 25
3.2.3 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO ASIMETRICO...	Pag. 25
3.2.4 PROBLEMA DE ORDENAMIENTO SECUENCIAL	Pag. 26
3.2.5 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO GEOMETRICO..	Pag. 26
3.2.6 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO CUMPLIENDO LA DESIGUALDAD DEL TRIANGULO	Pag. 27
3.2.7 PROBLEMA DEL CARTERO CHINO.....	Pag. 27
3.3 METODOS DE SOLUCION PARA EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO.....	Pag. 28
3.3.1 METODOS CONSTRUCTIVOS EN EL PROBLEMA DEL VIAJANTE.....	Pag. 28
3.3.1.1 HEURISTICOS DEL VECINO MAS PROXIMO.	Pag. 28
3.3.1.2 HEURISTICOS DE INSERCIÓN	Pag. 29
3.3.1.3 HEURISTICOS BASADOS EN ÁRBOLES GENERADORES.....	Pag. 31
3.3.1.4 HEURISTICOS BASADOS EN AHORROS.....	Pag. 33
3.3.2 BUSQUEDA LOCAL EN EL PROBLEMA DEL VIAJANTE.....	Pag. 34
3.3.2.1 METODO DOS OPTIMAL.....	Pag. 35
CAPITULO 4. CASO DE ESTUDIO: PROBLEMA DE DEFINICION DE RUTAS PARA EL PERSONAL DE CAMPO DEL AREA DE DISEÑO DE ITETE PERU.	
4.1 DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS.....	Pag. 40
4.2 CASO DE ESTUDIO.....	Pag. 42
4.2.1 DESCRIPCION ACTUAL DEL TRABAJO EN CAMPO.....	Pag. 42
4.3 DESCRIPCION DE CARTA DE ADJUDICACION.....	Pag. 42
4.4 ASIGNACION DE ZONAS DE TRABAJO.....	Pag. 43
4.5 TRABAJOS REALIZADOS EN EL AREA DE DISEÑO.....	Pag. 44
4.5.1 DISEÑO DE REDES DE CATV.....	Pag. 44
4.5.2 DISEÑO DE REDES MULTIPAR.....	Pag. 44

4.5.3 LEVANTAMIENTO INTEGRAL	Pag. 45
4.5.4 LEVANTAMIENTO BASICO.....	Pag. 45
4.6 ACTUALIZACION DE LA CARTOGRAFIA.....	Pag. 46
4.6.1 SITUACION ACTUAL DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACION	Pag. 49
4.6.2 TRABAJO DE CAMPO.....	Pag. 50
4.6.3 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION PARA PERSONAL DE CAMPO	Pag. 50
4.6.4 PLANOS CON INFORMACION DE CAMPO.....	Pag. 51
4.6.5 REVISION DE LA INFORMACION DE CAMPO.....	Pag. 51
4.6.6 ACTUALIZACION DE ARCHIVOS DIGITALES.....	Pag. 52
4.6.7 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION PARA EL PERSONAL DE DIGITACION.	Pag. 52
4.6.8 DE LOS DATOS ALMACENADOS	Pag. 53
4.6.9 CONTROL Y AVANCE DE PROYECTOS.....	Pag. 53
4.7 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	Pag. 53
4.7.1 DETERMINACION DE DISTANCIAS.....	Pag. 53
4.7.2 RECOLECCION DE DATOS.....	Pag. 56
4.7.3 ANALISIS DE LA RECOLECCION DE DATOS.....	Pag. 56
4.7.4 METODO PARA LA DETERMINACION DE LAS DISTANCIAS ENTRE DOS POSTES.....	Pag. 56
4.7.5 METODO PARA DETERMINAR EL RECORRIDO.....	Pag. 57
4.7.6 SITUACION PROPUESTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	Pag. 58
4.7.7 DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	Pag. 59
4.7.8 INTERFACE DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE OPTIMIZACION DE RUTAS.....	Pag. 60
4.7.9 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS...	Pag. 62
5. CONCLUSIONES.....	Pag. 64
6. RECOMENDACIONES.....	Pag. 65
7. ANEXOS.....	Pag. 67
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	Pag. 69

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

Las Redes de Telecomunicaciones de TDP S.A en el Perú están basadas en Redes Primarias (Redes de Alimentación) y Redes Secundarias que llegan al abonado. Las Redes Primarias no se encuentran visible porque son llevadas por tramos canalizados (de las Redes Primarias lo visible son las cámaras). Las Redes Secundarias por el contrario son visibles y son llevadas generalmente por tramos Aéreos, apoyándose para ello en postes y anclas. Las Redes Secundarias están compuestas de diversos dispositivos tales como amplificadores, divisores, atenuadores, derivadores, cajas terminales, armarios, etc. Estos dispositivos así como las cámaras, postes y anclas son parte de la infraestructura de telecomunicaciones de TDP S.A, de la cual se tiene que tener información actualizada, para contar con un archivo digital actualizado y un inventario ya sea por URA(UNIDAD REMOTA DE ACCESO) o distrito según los requerimientos de TDP S.A, para dar soporte a las áreas operativas de TDP S.A.

Para realizar la actualización de los archivos digitales con la información real de la infraestructura que se encuentra en campo, se requiere verificar la información de campo, para ello se cuenta con personal capacitado que realizan el recorrido de las redes primarias y secundarias de TDP S.A.

Esta tesina trata acerca de las rutas que pueden ser empleadas por el personal de campo para realizar el recorrido de las redes primarias y secundarias de TDP, para que el levantamiento de información de infraestructura en campo se puede hacer en un menor tiempo, usando para ello los diferentes métodos que existen para resolver el problema del agente viajero(TSP).

La actualización digital de la cartografía y las redes se realiza según las especificaciones técnicas proporcionadas por TDP S.A, la zona de levantamiento cartográfico será indicado oportunamente por el personal de TDP. Los tiempos de

estimación para el proyecto los dará TDP y la respectiva penalización si no se cumplen con los plazos de entrega.

Actualmente las redes de telecomunicaciones juegan un papel preponderante en nuestro entorno, se ha convertido en una necesidad básica en la sociedad y por ello el crecimiento de sus redes varía proporcionalmente a la demanda por lo cual la actualización digital se realiza cada cierto periodo de tiempo según lo estime conveniente TDP.

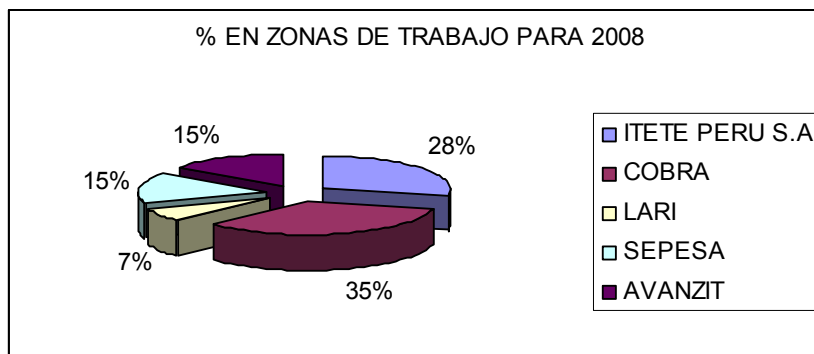
1 ANTECEDENTES Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Esta tesina esta orientada a dar solución a uno de los problemas más frecuentes que se presenta en el área de Diseño e Ingenieria de ITETE PERU S.A. el cual trata de asignar rutas al personal de campo para realizar el levantamiento de información en una zona determinada.

El área de Diseño e ingenieria de ITETE PERU S.A. brinda servicios a las áreas de Diseño y Registro Grafico de TDP S.A., a través de proyectos que son asignado mediante un contrato a inicios de año de acuerdo a la zona de trabajo que le corresponde a ITETE PERU S.A. el contrato en mención especifica la fecha de inicio, término y las penalizaciones por día de incumplimiento. Los Proyectos que vienen por parte del Área de Registro Grafico por TDP S.A son para levantar la cartografía, redes nuevas o actualización de la cartografía y redes existentes. Los proyectos asignados por TDP S.A vienen en forma simultánea y las fechas de entrega entre un proyecto y otro son cercanas. La base para el cumplimiento de la entrega de los proyectos a TDP S.A es el levantamiento de información de campo por ello se tiene que establecer rutas para poder realizar el levantamiento de información en el menor tiempo posible.

A Continuación se muestra la distribución de trabajo que tiene TDP. S.A con respecto a sus empresas colaboradoras para el año 2008.



Fuente tomada de Itete Peru S.A.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

Problema Principal:

No se cuenta con un sistema de optimización de rutas que minimice el tiempo empleado para el levantamiento de información en campo dado que es esta la base para la actualización de los archivos digitales de las redes de telecomunicación de TDP S.A.

Este problema cae dentro del tipo de problema del Agente viajero el cual tiene que visitar n ciudades comenzando y terminando en una misma ciudad, conociendo el costo de ir de una ciudad a otra. El viajero debe planear su itinerario, dado que debe visitar cada ciudad exactamente una vez y el costo total de su viaje debe ser mínimo. El problema es encontrar el costo mínimo del circuito de longitud n .^[1]

El enunciado formal del problema como programación lineal entera 0-1 del agente viajero^[2]:

$$\text{MIN} \sum_{i < j} C_{ij} X_{ij}$$

sa.:

$$\sum_{i < j} X_{ij} + \sum_{i > j} X_{ij} = 2, i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{(i,j) \in \partial(S)} X_{ij} \geq 2, \forall S \subseteq \{1, 2, \dots, n\} \text{ con } 3 \leq |S| \leq [n/2]$$

$$X_{ij} = 0, 1 \forall i < j$$

Donde:

C_{ij} : es el costo de ir de la ciudad i a la j

X_{ij} : vale 1 si va de la ciudad i a la ciudad j 0 en otro caso

$\partial(S)$: Conjunto de aristas incidentes con exactamente un vértice.

S : Subconjunto de vértices

^[1] Castro Peña, Juan Luis <http://decsai.ugr.es/~castro/CA/node24.html>

^[2] Marti, Rafael "Procedimientos Metaheurísticos en optimización combinatoria"

<http://www.uv.es/~rmarti/>

Para nuestro problema las ciudades serán remplazadas por los postes, y en nuestro caso el costo estará dado en términos de distancia.

Identificación de las variables de problema principal.

V1: Distancia del poste de inicio al poste destino.

V2: Tiempo que se demora el personal de campo en realizar el levantamiento de información por manzanas.

Problemas Secundarios

No se cuenta con un sistema que mida la producción diaria del trabajo del personal de campo ni el avance que se tiene acerca de un proyecto.

Identificación de las variables de problema secundario

V3: Cantidad de planos levantados en campo por fecha

V4: Fecha de inicio de un proyecto

V5: Fecha de entrega de un proyecto

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El Diseño de un Sistema de Optimización que ayude a la selección de rutas para poder cubrir una zona de trabajo en el menor tiempo posible.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar un reporte de producción diaria del personal de campo
- Eliminar la duplicidad de trabajo en campo en zonas colindantes
- Un reporte detallado de los proyectos que se tiene en campo y su porcentaje de avance.

1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

TDP S.A es el principal cliente de ITETE PERU S.A y como ya hemos mencionado la ejecución de los proyectos que asigna TDP S.A a sus empresas colaboradoras están dentro de un contrato, así como los proyectos que se tendrán que realizar, con sus fechas de entrega respectiva y las penalizaciones que serán aplicadas por incumplimiento de entregas, las penalizaciones son aplicadas de la siguiente manera:

- Todo proyecto entregado por TDP S.A viene con una carta de adjudicación dentro de la cual hay un cronograma de entregas. Si se cumple la fecha de entrega y no se ha entregado el proyecto a TDP S.A entonces existe una penalización del 5% del costo de proyecto y por cada día que pasa a la fecha de la entrega el porcentaje de la penalización se incrementa en 1%, la penalización máxima a la que se puede llegar es del 20%.
- Cuando un proyecto, después de su revisión, es aceptado por TDP S.A, se genera un acta de aceptación, en esta acta de aceptación se registra las penalizaciones por las cuales pasó el proyecto si es que las tuviera, y esto forma parte del historial de TDP S.A que será revisado para la asignación de proyectos para el próximo año.

Por lo expuesto anteriormente y así evitar las penalizaciones podemos concluir que es necesario contar con un sistema de optimización de rutas que minimice el tiempo empleado para el levantamiento de información en campo dado que es esta la base para la actualización de los archivos digitales de las redes de telecomunicación.

1.4.1 LIMITACIONES Y ALCANCES

El proyecto es aplicable sólo en el caso de actualización de las redes y cartografía de las zonas en las cuales TDP S.A ya tiene un archivo digital, no es aplicable para zonas donde no exista archivo digital pues se desconocerían las distancias de las zonas del recorrido y no se podría decidir las rutas a seguir.

1.4.2 VARIANTES DEL PROBLEMA

Esta metodología puede ser aplicada en otras áreas de la empresa como en el caso de Planta externa en donde se realizan instalaciones en diferentes zonas, en Telefonía Básica, Liquidaciones o Averías en donde necesitan llegar a un lugar determinado para poder realizar su trabajo, por ello el uso de una ruta predeterminada que les facilite llegar al punto de trabajo significaría una mejora de tiempo y ahorro en combustible dado que el traslado es por movilidad.

Este proyecto con las modificaciones respectivas también puede aplicarse en las municipalidades para realizar el levantamiento catastral en los municipios, en SEDAPAL, en el GAS DE CAMISEA, para establecer rutas mínimas de acceso en sus redes primarias y secundarias, en empresas de transporte, empresas de distribución de carga y empresas de mensajería, etc.

1.5 HIPOTESIS

La determinación de una ruta establecida que se visualice en los planos de referencia o plano llave que utiliza el personal de campo, disminuirá el recorrido del personal de campo al momento de hacer el levantamiento de información.

1.6 PROPUESTA

Para minimizar el recorrido del personal de campo en el levantamiento de información se propone la realización de un Sistema de optimización de rutas que establezca una ruta definida para realizar el recorrido en campo con una menor distancia, y a la vez que registre el trabajo diario del personal de campo a través de un control por plano.

1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESINA

La Tesina esta organizada de la siguiente manera:

En el Capítulo 1: Se hace una breve descripción acerca del problema en estudio.

En el Capítulo 2: Se presenta la teoría que será usada para dar solución a la problemática en estudio, se presentan conceptos sobre Problemas de Optimización, Teoría de Grafos, Heurística y Metaheurística.

En el Capitulo 3: Se describe los conceptos y métodos que existen para resolver el Problema del Agente Viajero^(TSP)(TSP).

En el Capitulo 4: Se presenta un caso de estudio aplicado al personal de campo del área de Diseño de Itete Peru.

En el Capitulo 5: Se presenta las conclusiones.

En el Capitulo 6: Se presenta las recomendaciones.

En el Capitulo 7: Se presenta las referencias bibliograficas.

^(TSP) : Problema del Agente Viajero

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 PROBLEMAS DE OPTIMIZACION

Es aquel problema cuya solución implica encontrar en un conjunto de soluciones candidas alternativas, aquellas que satisfacen mejor unos objetivos, se trata de encontrar el valor de unas variables de decisión que maximicen o minimicen una o varias funciones objetivos. El valor de las variables en ocasiones esta sujeto a algunas restricciones.

Formalmente el problema se compone del espacio de soluciones S , que puede ser continuo o discreto y la función objetivo f , expresada en términos de minimizar o maximizar. Resolver el Problema de optimización $(S; f)$ consiste en determinar una solución optima, una solución factible $x^* \in S$ tal que, para cualquier $x \in S$

$f(x^*) \leq f(x)$, si el objetivo es de minimización

$f(x^*) \geq f(x)$, si el objetivo es de maximización

Cuando el espacio de soluciones s es discreto no se cumple algunos presupuestos de los métodos analíticos y se tiene que recurrir a formas alternativas de solución

2.2 PROBLEMAS DE OPTIMIZACION COMBINATORIA

Estos problemas tienen la siguiente forma:

(P): Minimizar $c(x)$ tal que $x \in S$ en R^n [3].

La función objetivo $c(x)$ puede ser lineal o no lineal y la condición de $x \in S$ es una restricción que especifica que x toma valores discretos. S es el espacio de soluciones posibles que satisfacen ciertas restricciones.

Muchas técnicas de optimización, ya sean exactas o heurísticas para resolver el problema P son iterativas: comienzan con una solución inicial factible o infactible y construye una nueva solución(solución actual). El proceso continua hasta encontrar la solución optima o hasta que se satisfaga cierto criterio de parada [3].

[3] Riojas Cañari, Alicia Cirila "Búsqueda Tabu Conceptos, métodos y algoritmos aplicados al problema de las n reinas"
Tesis de Licenciatura

Desde una perspectiva de grafos de un proceso iterativo de solución puede ser visto como un camino en un grafo $G=(V; A)$ donde el conjunto de nodos V es el conjunto de soluciones posibles en S y donde un arco $(x, x') \in A$ existe si y solo si x' pertenece al vecindario de la solución x .

2.3 METODOS DE RESOLUCION PARA PROBLEMAS DE OPTIMIZACION

2.3.1 HEURISTICOS

El termino Heuristico esta relacionado con la tarea de resolver problemas inteligentemente utilizando la información disponible, el termino heuristico proviene de la palabra griega *heuriskein* que significa encontrar o descubrir.

En el ámbito de la inteligencia artificial se usa el termino heuristico para describir una clase de algoritmos que aplicando el conocimiento propio del problema y técnicas realizables se acercan al a solución del problema en un tiempo razonable.

En I.O el termino heuristico tiene una concepción mas exigente. “Se califica de heuristico a un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza de en que se encuentre soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad o su factibilidad, e incluso en algunos casos no se llega a establecer lo cerca que se esta de dicha situación”. Se usa el calificativo de heuristico en contraposición a exacto.

Los métodos heurísticos o aproximados son procedimientos eficientes para encontrar buenas soluciones aunque no se puedan comprobar que sean optimas. En estos métodos la rapidez del proceso es tan importante como la calidad de la solución obtenida.

Un método heuristico es un procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución.[3]

¿Como usar un Método Heuristico?

- Para generar una buena solución inicial
- Dada una solución inicial, el método heuristico participa en un paso intermedio del procedimiento para tratar de mejorarlo.

Un elemento a tener en cuenta es la condición de parada del algoritmo por lo tanto se debe establecer :

1. El numero máximo de las iteraciones permitidas(MAXITER) y/o
2. La tolerancia para aceptar la solución(TOL) que puede ser la diferencia entre el valor de la iteración anterior con la actual o el nivel de aproximación a un valor predefinido.

2.3.1.1 CLASIFICACION DE LOS METODOS HEURISTICOS

-Métodos de Descomposición.- El problema original se descompone en subproblemas más sencillos de resolver, teniendo en cuenta que de manera general estos subproblemas pertenecen al mismo problema.

-Métodos Inductivos.- La idea de estos métodos es generalizar de versiones pequeñas o más sencillas al caso completo.

-Métodos de Reducción.- Consiste en identificar propiedades que se cumplen mayoritariamente en las buenas soluciones e introducirlas como restricciones del problema. El objeto es restringir el espacio de soluciones simplificando el problema. El riesgo es dejar fuera las soluciones óptimas del problema original.

-Métodos constructivos.- Consiste en construir literalmente paso a paso una solución del problema usualmente son métodos deterministas y suelen estar basados en la mejor elección en cada iteración.

-Métodos de búsqueda local.- Estos métodos comienzan con una solución del problema y la mejoran progresivamente. El método finaliza cuando no existe ninguna solución accesible que mejora la anterior.

Al resolver un problema en forma heurística se debe medir la calidad de los resultados puesto que como ya hemos mencionado la optimalidad no esta garantizada, se debe pues medir la calidad y eficiencia de un algoritmo para poder determinar su valía frente a otros[3].

2.3.1.2 MEDICION DE LA CALIDAD Y EFICIENCIA DE LOS METODOS HEURISTICOS

Para medir la calidad de una heurística existen diferentes métodos entre los que se encuentran los siguientes:

- Comparación con la solución óptima si se conoce o con la mejor solución disponible.
- Comparación con una cota.
- Comparación con un método exacto truncado.
- Comparación con los resultados de otras heurísticas
- Análisis del peor caso

2.3.2 METAHEURISTICOS

El sufijo “meta” significa mas allá a un nivel superior, las metaheurísticas son estrategias para diseñar o mejorar los procedimientos heurísticos para llegar a obtener un alto rendimiento. El término metaheurístico fue introducido por Fred Glover en 1986 y desde entonces han aparecido muchas propuestas de pautas o guías para diseñar o mejorar procedimientos de solución de problemas combinatorios.

Los profesores Osman y Kelly(1995) introducen la siguiente definición “los procedimientos metaheurísticos” son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Los metaheurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evaluación biológica y los mecanismos estadísticos.

Las metaheurísticas se sitúan conceptualmente “por encima ” de la heurísticas en el sentido de que guían el diseño de estas, pueden estar compuestas por una combinación de algunas heurísticas, por ejemplo una metaheurística puede usar una heurística constructiva para generar una solución inicial y luego usar otra heurística de búsqueda para encontrar una mejor solución[3].

METODOS METAHEURISTICOS

El tipo de Metaheurística esta en función de que tipo de heurística comprende y se puede hacer una clasificación en :

-Métodos constructivos.- Van incorporando elementos a una estructura inicialmente vacía que representa la solución. La metaheurística constructiva da pautas para seleccionar los componentes que debe tener una buena solución

-Métodos evolutivos.- Están basados en poblaciones de soluciones, en cada iteración del algoritmo no se tiene una única solución si no un conjunto de soluciones. Estos métodos se basan en generar, seleccionar y remplazar un conjunto de soluciones, dado que mantienen y manipulan un conjunto de soluciones a lo largo del proceso de búsqueda suelen presentar tiempos de computación muchos mas altos que otros metaheurísticos[2].

-Métodos de Búsqueda.- Son métodos que proponen que existen una solución y realizan procedimientos de búsqueda, la diferencia con los métodos analíticos es que no necesariamente se encontrara la solución óptima. Uno de los riesgos es el alcanzar un óptimo local del que no se pueda salir.

Las principales metaheurísticas de búsqueda global surge de las tres formas principales de escapar de los óptimos locales.

1 Volver a comenzar la búsqueda desde otra solución inicial.

2 Modificar las estructura de entornos.

3 Permitir movimientos de empadronamiento de la solución actual[3].

Métodos	En que consisten	Tipo de solución
Exacto	Procedimiento sujeto a una serie de pre-supuestos, pero convergen en una solución optima	Exacta
Heurístico	Procedimiento en el que se tiene un alto grado de confianza que se encuentren soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad o su factibilidad, e incluso en algunos casos no se llega a establecer lo cerca que esta de dicha situación.	Aproximada
Metaheurístico	Son estrategias para diseñar o mejorar los procedimientos heurísticos con miras a obtener un alto rendimiento.	Aproximada

Cuadro 1. Métodos de Solución Iterativos

2.4 TEORIA DE GRAFOS

2.4.1 TEORIA DE GRAFOS tomado de Rafael Marti[2].

- **Un grafo** es conexo si todo par de vértices esta unido por un camino.
- **Un árbol** es un grafo conexo que no contiene ciclos. El numero de aristas de un árbol es igual al número de vértices menos uno.
- **Un árbol generador** de un grafo $G=(V, A, C)$ es un árbol sobre todos los vértices y tiene, por tanto, $|V|-1$ aristas de G .
- **Un árbol generador de mínimo peso**(o de coste mínimo)es aquel que de entre todos los árboles generadores de un grafo dado, presenta la menor suma de los costes de sus aristas.
- **Un acoplamiento** de un grafo $G=(V,A,C)$ es un subconjunto M del conjunto A de aristas cumpliendo que cada vértice del grafo es a lo sumo incidente con una arista de M .
- **Un acoplamiento sobre un grafo** $G=(V,A,C)$ es perfecto si es de cardinalidad máxima e igual a $\lfloor |V|/2 \rfloor$.
- **Un camino** (o cadena) es una sucesión de aristas $(e_1,e_2,\dots e_k)$ en donde el vértice final de cada arista coincide con el inicial de la siguiente. También puede representarse por la sucesión de vértices utilizados.
- **Un ciclo** es un camino $(e_1,e_2,\dots e_k)$ en el que el vértice final de e_k coincide con el inicial de e_1 .
- **Un subtour** es un ciclo simple que no pasa por todos los vértices del grafo.
- **Un tour o ciclo** hamiltoniano es un ciclo simple que pasa por todos los vértices del grafo.

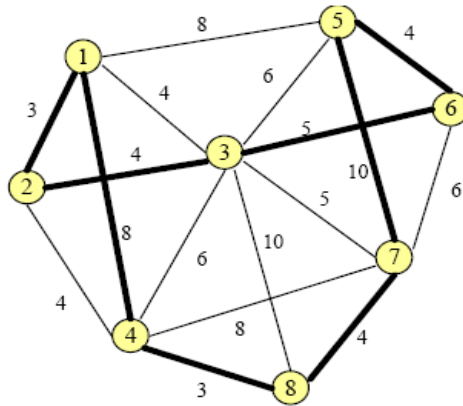


Figura 1. Ciclo Hamiltoniano

En la figura anterior se muestra un grafo de 8 vértices en el que aparece destacado un ciclo hamiltoniano, consideremos que el grafo es completo, que para cada par de vértices existe una arista que los une.

CAPITULO III

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

3.1.1 HISTORIA DEL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO(TSP)

Problema del Agente Viajero (TSP) pertenece al tipo de problema NP-Completo. La primera noticia que se tiene del TSP fue en 1831; en Alemania un libro fue publicado y titulado como "Der Handlungsreisende" o bien "El Agente Viajero", donde se hacía la pregunta ¿Cómo debe de ser un agente viajero y que debe hacer para vender más y ser exitoso en su negocio? Respondiendo a esta pregunta con un programa de recorridos para poder cubrir tantas localidades como fuera posible sin visitar una localidad dos veces.^[4]

Pero la historia del TSP desde el punto de vista algorítmico ha evolucionado gracias a que este problema ha sido una excelente plataforma de pruebas para la introducción de nuevas ideas algorítmicas como las relajaciones Lagrangean para el Recocido Simulado (Simulated Annealing), búsqueda Tabú, algoritmos Genéticos, Redes Neuronales, etc.

Este problema, también conocido como *Traveling Salesman Problem* (TSP), ha sido uno de los más estudiados en Investigación Operativa, por lo que merece una atención especial. Cuando la teoría de la Complejidad Algorítmica se desarrolló el TSP fue uno de los primeros problemas en estudiarse, probando Karp en 1972 que pertenece a la clase de los problemas difíciles (NP-hard).

El Problema del Viajante puede enunciarse del siguiente modo:

Un viajante de comercio ha de visitar n ciudades, comenzando y finalizando en su propia ciudad. Conociendo el coste de ir de cada ciudad a otra, determinar el recorrido de coste mínimo.

[4] Castañeda Roldán, Carolina Yolanda "Estudios Comparativos de diversos métodos de Solución del Agente Viajero"
Tesis de Maestría

Para enunciar el problema formalmente en términos de grafos sería así:

Sea un grafo $G=(V, A, C)$ donde V es el conjunto de vértices, A es el de aristas y $C=(c_{ij})$ es la matriz de costes. Esto es, c_{ij} es el coste o distancia de la arista (i,j) .

3.2 VARIACIONES DEL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO(TSP)

3.2.1 EXTENSION DEL AGENTE VIAJERO

Conocido como Traveling Salesman Extension (TSE). En este problema se tiene una ruta parcial, pero se desea saber si se puede generar el circuito completo sin exceder un cierto peso, por ejemplo se desea recorrer toda la República Peruana, pero se tiene una parte de la ruta ya pensada, por lo que la pregunta sería si ¿se puede completar la ruta sin que cueste más de \$5000.00? .

Instancia : Un conjunto finito $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ de ciudades, una distancia $d(c_i, c_j) \in \mathbb{Z}^+$ para cada par de ciudades $c_i, c_j \in C$, una cota $B \in \mathbb{Z}^+$, y una ruta "parcial" $\theta = \langle c_{\pi(1)}, c_{\pi(2)}, \dots, c_{\pi(K)} \rangle$ de K distintas ciudades desde C , $1 \leq K \leq m$.

Pregunta : ¿Puede θ ser extendida para una ruta completa $\langle c_{\pi(1)}, c_{\pi(2)}, \dots, c_{\pi(K)}, c_{\pi(K+1)}, \dots, c_{\pi(m)} \rangle$ teniendo una longitud total B o menos ?. Tomado de [5] [5]

3.2.2 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO SIMETRICO

Conocido como el Symmetric traveling salesman problem (TSP). Dado un conjunto de n nodos y distancias para cada par de nodos, encontrar una longitud total mínima que visite cada uno de los nodos exactamente una vez. La distancia del nodo i al nodo j es la misma que del nodo j al nodo i . [5]

[5] Moscato Pablo "Variaciones del Problema del Agente Viajero"
<http://www.iwr.uniheidelberg.de/iwr/comopt/soft/TSPLIB95/TSPLIB.html>

3.2.3 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO ASIMETRICO

Conocido como Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP). Dado un conjunto de nodos y distancias para cada par de nodos, encontrar una ruta de longitud total mínima que visite cada uno de los nodos exactamente una vez. En este caso, la distancia del nodo i al nodo j y la distancia del nodo j al nodo i puede ser diferente. [5]

3.2.4 PROBLEMA DE ORDENAMIENTO SECUENCIAL

Conocido con el nombre de Sequential Ordering Problem (SOP), este problema es un problema del Agente Viajero Asimétrico con limitaciones adicionales. Dado un conjunto de n nodos y distancias para cada par de nodos, encontrar un camino Hamiltoniano del nodo 1 al nodo n de longitud mínima, camino que toma en cuenta las limitaciones anteriores. Cada restricción precedente requiere de algún nodo i que tiene que ser visitado antes que algún otro nodo j . [5]

3.2.5 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO GEOMETRICO

Conocido como el Geometric Traveling Salesman Problem (GTS). Se tienen ciudades en el plano y se quiere encontrar si hay un circuito solución del TSP que no se pase de por ejemplo 1000 Km. La distancia es la euclidiana en términos de enteros (redondeo hacia arriba). Su definición matemáticas es [6] :

Instancia : Sea un conjunto $P \subseteq \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ de puntos en el plano, y un entero positivo B .

Pregunta : ¿ Existe un recorrido de longitud B o menor para el problema del agente viajero con $C = P$ y $d((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ igual a la distancia euclidiana discretizada $\lceil ((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^{1/2} \rceil$?

[6]] Michael. R. Garey / David.S. Johnson: Computers and Intractability A Michael. R. Garey / David.S. Johnson: Computers and Intractability

3.2.6 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO CUMPLIENDO LA DESIGUALDAD DEL TRIANGULO

El TSP es un problema que satisface la desigualdad del triángulo que consiste en $d(c_i, c_j) \leq d(c_i, c_k) + d(c_k, c_j)$ para toda tripleta de ciudades, dicho de otra manera, la distancia más corta entre dos ciudades en el plano es una línea recta, que corresponde a una ruta directa.

Es importante recalcar que, la desigualdad del triángulo se cumple en las versiones geométricas del TSP (donde las ciudades corresponden a puntos en un espacio métrico y las distancias son calculadas de acuerdo a la métrica del espacio, ya sea esta euclidiana, rectilínea, u otra), y la distancia corresponde a la longitud del camino más corto entre dos puntos[5].

3.2.7 PROBLEMA DEL CARTERO CHINO

Un cartero lleva el correo desde la oficina de correo hasta su destino, es decir lo reparte y cuando regresa a la oficina, el debe por supuesto, cubrir cada una de las calles en esa área al menos una vez. Sujeto a esta condición, el desea escoger su ruta en tal forma que el camine tan poco como sea posible. Este problema es conocido como el Problema del Cartero Chino, desde que fue considerado por el matemático chino Kuan en 1962. En un grafo con peso se define el peso de una ruta $v_0 e_1 v_1 \dots e_n v_n$

que será $\sum_{i=1}^n W(e_i)$ Se puede observar que el problema de cartero chino es justamente

el encontrar un camino con peso mínimo en un grafo conexo con pesos que no deben ser negativos. Refiriéndose a este camino como el camino óptimo. Si G es Euleriano, entonces cualquier camino Euleriano de G es un camino óptimo porque el camino Euleriano es un camino que navega a través de cada vértice exactamente una vez [5].

3.3 METODOS DE SOLUCION PARA EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

3.3.1 METODOS CONSTRUCTIVOS EN EL PROBLEMA DEL VIAJANTE

Son procedimientos iterativos que en cada paso añaden un elemento hasta completar una solución, son métodos deterministas y están basados en seleccionar en cada iteración el elemento con mejor evaluación

3.3.1.1 HEURISTICOS DEL VECINO MAS PROXIMO

Este heurístico, usado como solución para el TSP, trata de construir un ciclo Hamiltoniano debajo coste basándose en el vértice cercano a uno dado. Este algoritmo es debido a Rosenkrantz, Stearns y Lewis (1977) [2] :

ALGORITMO DEL VECINO MAS PROXIMO [2]

Inicialización

Seleccionar un vértice j al azar

Hacer $t = j$ y $W = V \setminus \{j\}$

Mientras ($W \neq \emptyset$)

Tomar $j \in W / c_{tj} = \min \{c_{ti} / i \in W\}$

Conectar t a j

Hacer $W = W \setminus \{j\}$ y $t = j$

Fin

Este procedimiento realiza un número de operaciones de orden $O(n^2)$. Si seguimos la evolución del algoritmo al construir la solución de un ejemplo dado, veremos que comienza muy bien, seleccionando aristas debajo coste. Sin embargo, al final del proceso probablemente quedarán vértices cuya conexión obligaría a introducir aristas de coste elevado. Esto es lo que se conoce como *miopía* del procedimiento, pues, en una iteración escoge la mejor opción disponible sin "ver" que esto puede obligar a realizar malas elecciones en iteraciones posteriores.

Para reducir la miopía del algoritmo y aumentar su velocidad se introduce el concepto de subgrafo candidato, junto con algunas modificaciones en la exploración. Un subgrafo candidato es un subgrafo del grafo completo con los n vértices y únicamente las aristas consideradas "atractiva" para aparecer en un ciclo Hamiltoniano debajo coste. Una

posibilidad es tomar, por ejemplo, el *subgrafo de los k vecinos mas cercanos*; esto es, el subgrafo con los n *vértices* y para cada uno de ellos las aristas que lo unen con los k vértices mas cercanos.

El algoritmo puede “mejorarse” en los siguientes aspectos:

Para seleccionar el vértice j que se va a unir a t (y por lo tanto al tour parcial en construcción), en lugar de examinar todos los vértices, se examinan únicamente los adyacentes a t en el subgrafo candidato. Si todos ellos están ya en el tour parcial, entonces si que se examinan todos los posibles.

-Cuando un vértice queda conectado (con grado 2) al tour en construcción, se eliminan del subgrafo candidato las aristas incidentes con el.

-Se especifica un numero $s < k$ de modo que cuando un vértice que no esta en el tour esta conectado únicamente a s o menos aristas del subgrafo candidato se considera que se esta quedando aislado. Por ello se inserta inmediatamente en el tour. Como punto de inserción se toma el mejor de entre los k vértices más cercanos presentes en el tour [2].

3.3.1.2 HEURISTICOS DE INSERCIÓN

Este heurístico es una aproximación intuitiva para la solución del TSP consiste en iniciar construyendo ciclos que visiten únicamente unos cuantos vértices para luego extenderlos insertando los vértices restantes. En cada paso se inserta un nuevo vértice en el ciclo hasta obtener un ciclo Hamiltoniano. Este procedimiento es debido a Rosenkrantz, Stearns y Lewis(1977) tomado de[2] :

ALGORITMO DE INSERCIÓN[2]

Inicio

 Seleccionar un ciclo inicial(subtour) con k vértices

 Hacer $W = V \setminus \{\text{vértices seleccionados}\}$

 Mientras ($W \neq \emptyset$)

 Tomar $j \in W$ de acuerdo con algún criterio preestablecido

 Insertar j donde menos incremente la longitud del ciclo

 Hacer $W = W \setminus \{j\}$

Fin

Existen varias posibilidades para implementar el esquema anterior de acuerdo con el criterio de selección del vértice j de W a insertar en el ciclo. Se define la distancia de un vértice v al ciclo como el mínimo de las distancias de v a todos los vértices del ciclo:

$$dmin(v) = \min \{ d(v, i) / i \in V \setminus W \}$$

Los criterios mas utilizados son:

Inserción mas cercana: Seleccionar el vértice j mas cercano al ciclo.

$$dmin(j) = \min \{ dmin(v) / v \in W \}$$

Inserción mas lejana: Seleccionar el vertice j mas lejano al ciclo

$$dmin(j) = \max \{ dmin(v) / v \in W \}$$

Inserción mas barata: Seleccionar el vértice j que será insertado con el menor incremento del coste.

Inserción aleatoria: Seleccionar el vértice j al azar.

La siguiente Figura muestra la diferencia entre estos criterios en un caso dado El ciclo actual. Esta formado por 4 vertices y hay que determinar el proximo a insertar. La inserción mas cercana escogerá el vértice i , la mas lejana el s y la mas barata el vértice k . [2]

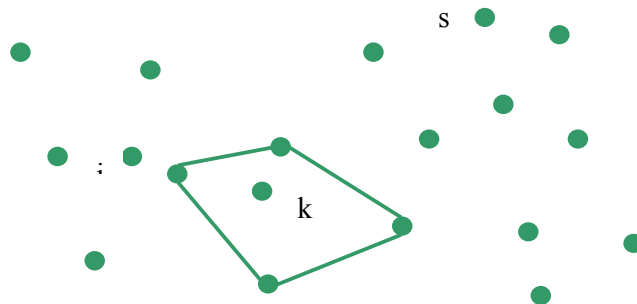


Figura 2. Selección de vértice a insertar

Todos los métodos presentan un tiempo de ejecución de $O(n^2)$ excepto la inserción mas cercana que es de $O(n^2 \log n)$ [2].

3.3.1.3 HEURISTICOS BASADOS EN ÁRBOLES GENERADORES

METODO ADAPTACION DEL PRIM.

El método Adaptación Prim se adecuó al TSP, porque el Algoritmo de Prim, produce un árbol generador mínimo o árbol de expansión mínimo o árbol abarcador mínimo T (Minimum spanning tree) que es un grafo no dirigido conectado con aristas ponderadas. Inicialmente se escoge un vértice arbitrario y se permite que T sea un árbol que consiste de ese vértice seleccionado. Se repite la etapa de selección del siguiente vértice $n-1$ veces, tomando en cuenta cual arista tiene el costo mínimo con exactamente un punto final en T, incluyendo ese vértice en T. Se dice que es un algoritmo voraz porque siempre añade la arista de costo mínimo y suprime la mayor. Además hace elecciones mínimas manteniendo simultáneamente el subgrafo conexo y acíclico. Más aún, no necesita que las aristas del grafo G estén ordenadas de antemano. La adaptación consiste en tomar los vértices del árbol abarcador mínimo y producir un ciclo hamiltoniano[4].

A continuación se realiza una descripción más detallada del método Adaptación Prim para el TSP Simétrico de 5 ciudades que se muestra en la Figura 3. Se parte de la Figura a, puede iniciarse en cualquier nodo, pero en este caso será el nodo 0. Se busca la arista con el menor peso que salga del nodo 0, siendo el nodo 3 con un peso de 2. Y se repite la operación, recordando que un nodo que ya fue seleccionado no puede participar nuevamente.

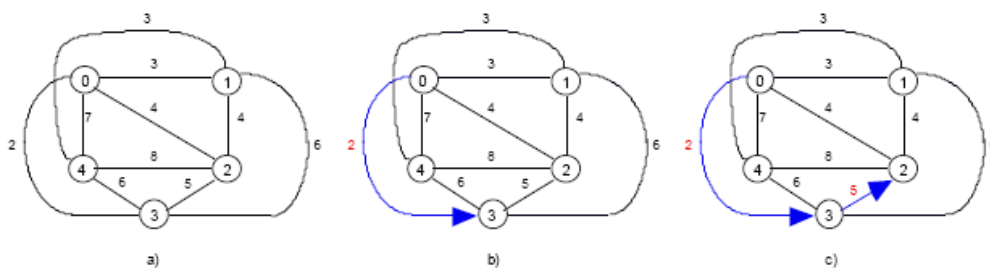


Figura 3. Inicio del Recorrido del Método adaptación del Prim

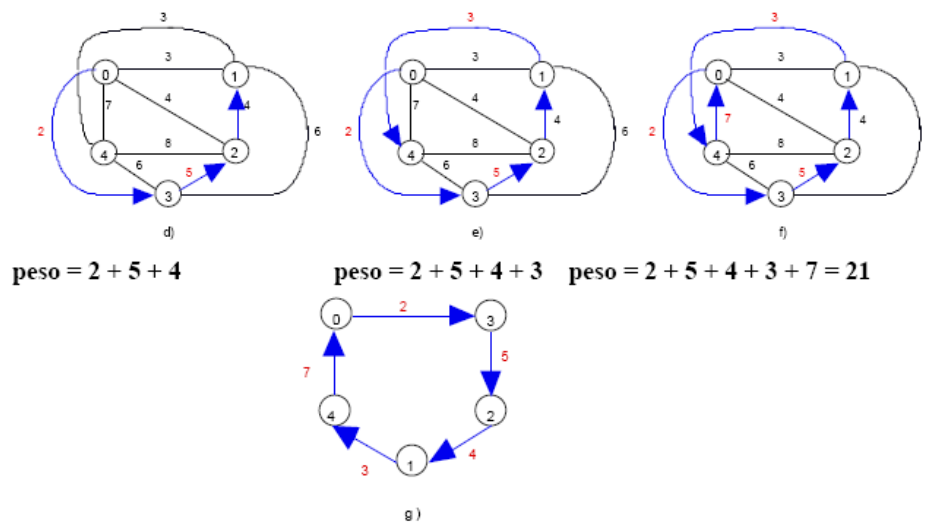


Figura 4. Ruta Optima después de la Adaptación del Prim

En la Figura 4 d. hay dos números de peso mínimo con valor 4, pero el nodo 0 no puede seleccionarse porque primero formaría un ciclo lo cual no es permitido en el árbol abarcador de Prim, y segundo se repetiría el nodo 0 cosa no permitida en el TSP. Por lo que solo queda el mínimo 4 que va al vértice 1.

En la Figura 4 f. se encuentra el peso mínimo y la ruta óptima, esta se reacomoda para que se distinga mejor en la figura 4 g. Además puede notarse que el resultado de la ruta óptima es 21.

3.3.1.4 HEURISTICOS BASADOS EN AHORROS

Este algoritmo se basa en combinar sucesivamente subtours hasta obtener un ciclo Hamiltoniano. Los subtours considerados tienen un vértice común llamado base. El procedimiento de unión de subtour se basa en eliminar las aristas que conectan dos vértices de diferentes subtours con el vértice base, uniendo posteriormente los vértices entre si. Llamamos ahorro a la diferencia del coste entre las aristas eliminadas y la añadida[2].

ALGORITMO DE AHORROS[2]

Inicio

Tomar un vértice $z \in V$ como base

Establecer los $n-1$ subtours $[(z,v), (v,z)]$, $v \in V \setminus \{z\}$

Mientras (Queden dos o mas subtours)

Para cada par de subtours calcular el ahorro de unirlos al eliminar en cada uno una de las aristas que lo une con z y conectar los dos vértices asociados.

Unir los dos subtours que produzcan un ahorro mayor.

Fin

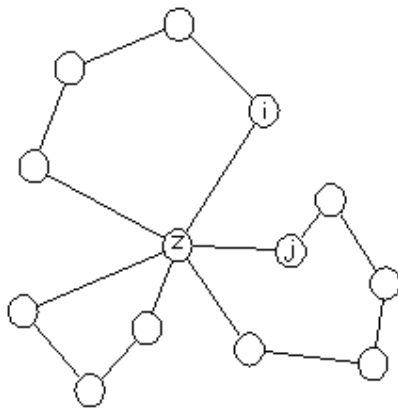


Figura 5a. Subtours iniciales

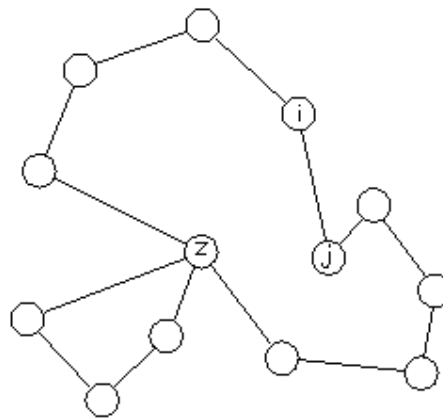


Figura 5b. Subtours finales

En la implementación del algoritmo se tiene que mantener una lista con las combinaciones posibles. El punto clave de la implementación es la actualización de esta lista. Sin embargo, al unir dos subtours únicamente se ven afectados aquellos en los que su “mejor conexión” pertenece a alguno de los dos subtours recién unidos. Luego basta con actualizar estos en cada iteración sin necesidad de actualizarlos todos cada vez que se realiza una unión.

3.3.2 BUSQUEDA LOCAL EN EL PROBLEMA DEL VIAJANTE

Las soluciones que se obtienen con los métodos constructivos suelen ser de una calidad moderada, los algoritmos basados en la búsqueda local los mejoran.

Los procedimientos de búsqueda local, también llamados de mejora, se basan en explorar el entorno o vecindad de una solución, utilizan una operación básica llamada movimiento que aplicada sobre los diferentes elementos de una solución, proporciona las soluciones de su entorno. Definición formal según[2]:

Definición: Sea X el conjunto de soluciones del problema combinatorio. Cada solución x tiene un conjunto de soluciones asociados.

$N(x) \subset X$, que denominaremos entorno de x .

Definición: Dada una solución x de su entorno, $x' \in N(x)$, puede obtenerse directamente a partir de x mediante una operación llamada movimiento.

Un procedimiento de búsqueda local queda determinado al especificar un entorno y el criterio de selección de una solución dentro del entorno. La definición de entorno o movimiento, depende en gran medida de la estructura del problema a resolver, así como de la función objetivo. También se pueden definir diferentes criterios para seleccionar una nueva solución del entorno. Uno de los criterios más simples consiste en tomar la solución con mejor evaluación de la función objetivo, siempre que la nueva solución sea mejor que la actual. Este criterio, conocido como greedy, permite ir mejorando la solución actual mientras se pueda. El algoritmo se detiene cuando la solución no puede ser mejorada. A la solución encontrada se le denomina óptimo local respecto al entorno definido.

El óptimo local alcanzado no puede mejorarse mediante el movimiento definido. Sin embargo, el método empleado no permite garantizar, de ningún modo, que sea el óptimo global del problema. Esta limitación de la estrategia greedy es el punto de partida de los procedimientos metaheurísticos basados en búsqueda local: evitar el quedar atrapados en un óptimo local lejano del global. Para lo cual, como hemos visto, se hace preciso el utilizar movimientos que empeoren la función objetivo. Sin embargo esto plantea dos problemas. El primero es que al permitir movimientos de mejora y de no mejora, el procedimiento se puede ciclar, revistando soluciones ya vistas, por lo que habría que introducir un

mecanismo que lo impida. El segundo es que hay que establecer un criterio de parada ya que un procedimiento de dichas características podría iterar indefinidamente [2].

3.3.2.1 METODO DOS OPTIMAL

Esta técnica de solución también recibe el nombre de "2-Opt" que es la forma corta de "Dos Optimal", o bien "2-Operadores" u " Opción Doble". Esta es una de las heurísticas más exitosas para obtener una solución cercana al problema TSP^[7] [7]. Este inicia con un ciclo Hamiltoniano llamado H, esta ruta inicial para el TSP puede ser arbitraria o bien (1, 2, ..., n). Se borran r aristas de H, produciendo así r caminos desconectados (algunos de los cuales pueden ser nodos aislados). Se reconectan estos r caminos de tal forma que producen otra ruta para el TSP llamada H', en la que se usan aristas diferentes de aquellas que fueron removidas de H. Así H y H' difieren una de la otra en exactamente r aristas; las (n-r) aristas remanentes son las aristas en común. La siguiente figura ilustra el método 2-Opt.

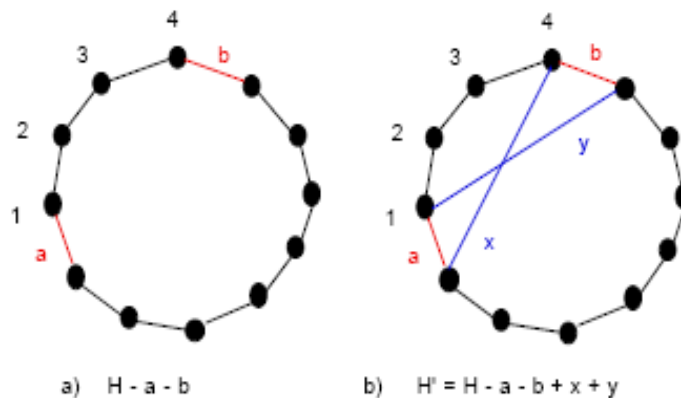


Figura 6. Unión de vértices para formar un camino 2-Opt

[7] José Arreola. Notas de la Materia Análisis y Diseño de Algoritmos. Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales. 1996.

Se calcula el peso total $w(H')$ de la ruta H' , y si $w(H') < w(H)$, reemplazar H con H' y repetir el proceso; de otra manera, tomar otro conjunto de r aristas de H para intercambiarlas. Tales intercambios (de conjuntos de r aristas) continúan hasta que ninguna otra mejora se pueda realizar por intercambio de r aristas. La solución final es llamada r -Optimal o r -Opt, en este caso se estudiará con $r = 2$ siendo así el Dos-Optimal o 2-Opt [8]. El procedimiento de intercambio de aristas terminará en un óptimo local (no necesariamente en un óptimo global), produciendo de esta manera una solución aproximada. Este algoritmo de aproximación para el TSP ilustra una aproximación para resolver muchos problemas de optimización, que se conocen como búsqueda local o búsqueda por vecindades.

El procedimiento 2-Opt es una solución aproximada al problema Simétrico del TSP con n nodos y una matriz de adyacencia o de pesos W . El ciclo inicial consiste del siguiente conjunto de aristas (de un TSP Simétrico) del $H = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ en el orden x_1, x_2, \dots, x_n . Sea $X = \{x_i, x_j\}$ el conjunto de dos aristas en H las cuales serán borradas y reemplazadas por las aristas $Y = \{y_p, y_q\}$, si hay una mejora. Esto es $H' = (H - X) \cup Y$ es una ruta nueva y mejorada. Obsérvese que[4]:

- a) las dos aristas x_i, x_j en X no pueden ser adyacentes y
- b) Una vez que el conjunto X ha sido seleccionado, el conjunto Y es determinado.

Así hay :

$$\frac{n(n-1)}{2} - n = \frac{n(n-3)}{2}$$

rutas posibles H' para una H dada. Para cualquiera de estas rutas se denotará la mejora con d , así :

$$d = w(H) - w(H') = w(x_i) + w(x_j) - w(y_p) - w(y_q)$$

Se examinarán todas las $n(n-3)/2$ rutas H' y se retendrá una de ellas, aquella cuya d sea la máxima. Si esta d es negativa o cero, se ha encontrado la solución 2-Opt. Si $\delta_{\max} > 0$. Se usa la correspondiente solución como la ruta inicial y entonces se repite todo el proceso. Se continua sucesivamente la mejora de la ruta hasta que $\delta_{\max} > 0$ es

un número negativo [8][8].

El siguiente algoritmo describe a 2-Opt como técnica de solución para el TSP, usando reemplazamientos de dos aristas en forma sucesiva [8].

ALGORITMO DE 2-OPT [8]

```

Inicio
Sea  $H = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  la ruta inicial
Mientras  $\delta \max > 0$ ;
  desde  $i = 1$  hasta  $(n-2)$ 
    desde  $j = (i+2)$  hasta  $n$  o  $(n-1)$ 
      si  $(w(x_i) + w(x)) - (w(y_p) + w(y_q)) > \delta \max$ 
         $\delta \max = (w(x_i) + w(x)) - (w(y_p) + w(y_q))$ 
        guardar tanto a  $i$  como a  $j$ 
      fin si
    fin desde  $j$ ;
  si  $\delta \max > 0$ 
     $H = H - \{x_i, x\} = \{y_p, y_q\}$ 
  fin si
   $\delta \max = 0$ 
fin desde  $i$ 
fin
  
```

A continuación usando el algoritmo anterior, se realiza una descripción más detallada del 2-Opt para un TSP Simétrico de 5 ciudades. Se muestra el TSP en la figura 4.6a con su respectiva matriz de adyacencia [8].

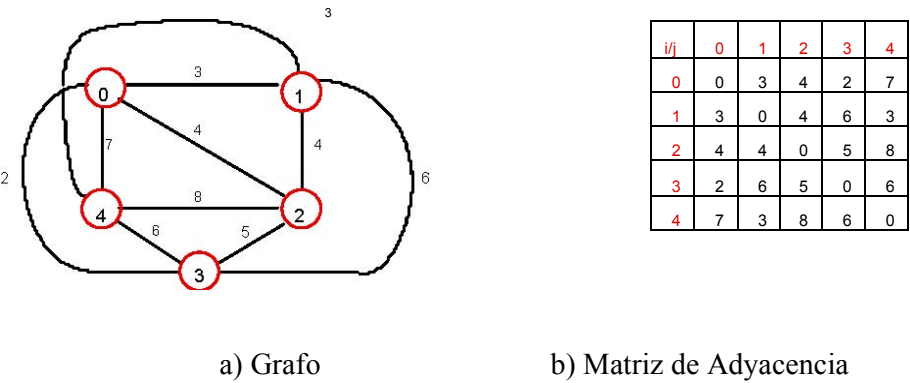


Figura 7. Un problema TSP Simétrico de 5 ciudades

[8] A.V. Aho, J.E. Hopcroft y J.D. Ullman: The Design and Analysis of Computer Algorithms. Addison Wesley. 1974.

Con los datos de la matriz de adyacencia se calcula el circuito Hamiltoniano inicial (ruta inicial) a mejorar que es 0-1-2-3-4-0 con un peso de $3+4+5+6+7 = 25$. Ahora, reconsidérese la figura 7, para comenzar con el recorrido de la figura 7.a. El proceso se inicia con $\delta \max = 0$ y con la selección de 2 aristas; la formada por los vértices (0, 1) y una arista vecina (2, 3) (figura 7.a). Se proponen dos aristas nuevas, las formadas por el cruce de (i_1, j_1) , y la otra por el cruce de (i_2, j_2) , cuyas distancias son :

$$\text{Distancia}(i_1, i_2) = \text{Distancia}(0, 1) = 3$$

$$\text{Distancia}(j_1, j_2) = \text{Distancia}(2, 3) = 5$$

$$\text{Distancia}(i_1, j_1) = \text{Distancia}(0, 2) = 4$$

$$\text{Distancia}(i_2, j_2) = \text{Distancia}(1, 3) = 6$$

Se calcula su peso :

$$\max 1 = (a[i_1][i_2] + a[j_1][j_2]) - (a[i_1][j_1] + a[i_2][j_2]) = -2$$

$\max 1$ no es mayor que $\delta \max$ así que se buscan otras 2 parejas.

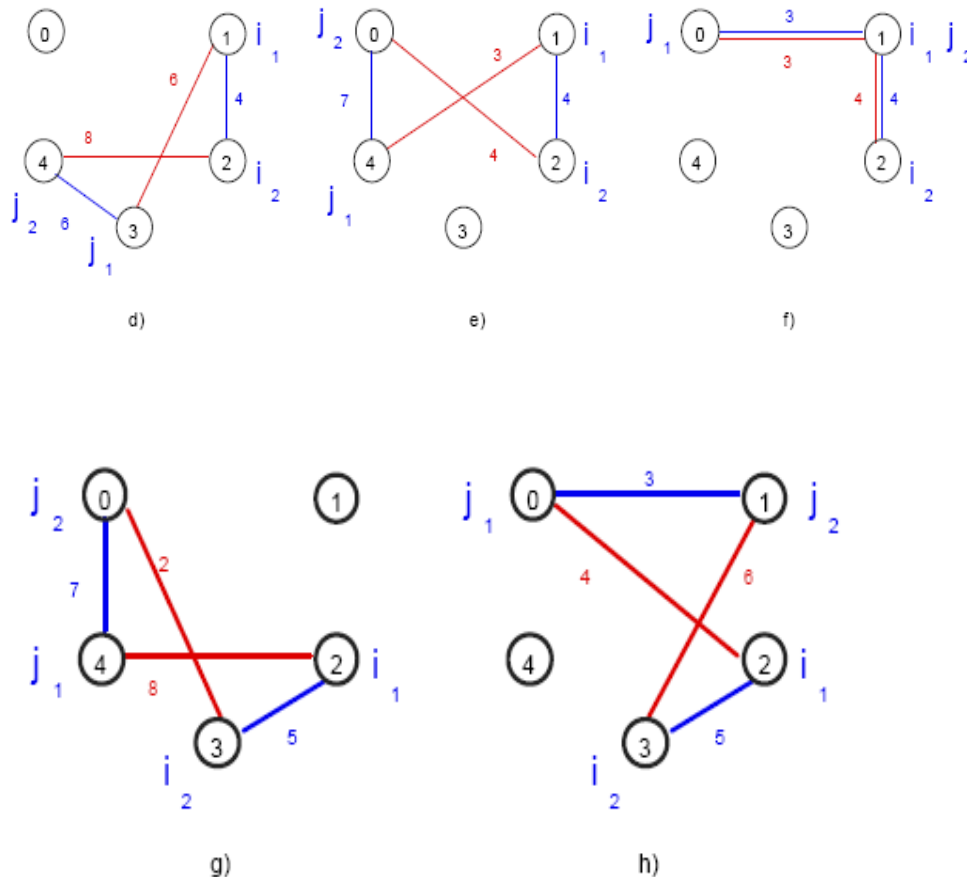


Figura 8. Aristas mejorada de un problema TSP simétrico para 5 ciudades

Se reemplazan (i_1, i_2) y (j_1, j_2) , cuyo costo total es 9, por (i_1, j_1) y (i_2, j_2) , con un costo total de 5; y una diferencia $(3+6) - (2+3) = 4$, como se muestra en la figura 8 b. Dando un peso actual de 25 (peso anterior) - 4(mejora) = 21. Se muestra en la figura 8.c y 8.f aristas vecinas adyacentes. Se continua el proceso de búsqueda de mejores aristas, encontrando otra mejora como se muestra en la siguiente figura [4].

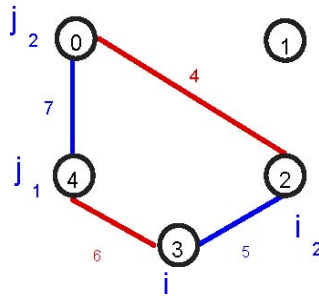


Figura 9. Otro par de aristas mejoradas

Esta vez se reemplazan (i_1, i_2) y (j_1, j_2) , cuyo costo total es 12, por (i_1, j_1) y (i_2, j_2) , con un costo total de 10; y una diferencia 2, como se muestra en la figura 9. Dando un peso actual de 21 (peso anterior) - 2(mejora) = 19. Se puede comprobar que no hay ningún par de aristas que se pueda eliminar de esta figura y ser reemplazado con ventaja por aristas cruzadas con los mismos extremos. Por lo que el peso es el peso mínimo, dando el recorrido óptimo mostrado en la figura 10.a, esta ruta se redibuja en la figura 10.b siguiendo los nodos para que sea mas entendible. La ruta tomando a la ciudad 0 como la inicial es 0-3-4-1-2-0 con un peso óptimo de 19 [4].

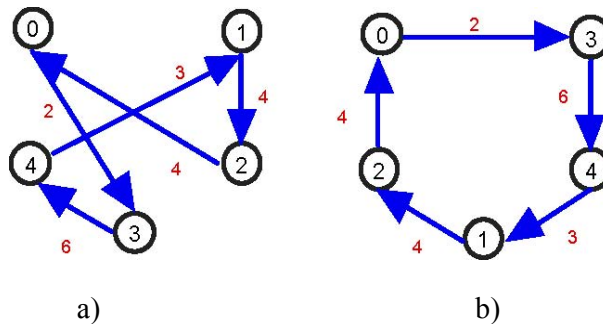


Figura 10. Ruta óptima después de 2-Opt

CAPITULO IV

4. CASO DE ESTUDIO: PROBLEMA DE DEFINICION DE RUTAS PARA EL PERSONAL DE CAMPO DEL AREA DE DISEÑO DE ITETE PERU.

4.1 DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS

ABONADO: Denominación que recibe el cliente al cual TDP S.A presta algún tipo de servicio.

ANCLAS Y RIOSTRAS: Elementos que sirve para reforzar un poste cuando los esfuerzos actuantes, son superiores al esfuerzo del trabajo.

AREA DE INFLUENCIA: Área geográfica donde los abonados son servidos por una oficina central, cabecera o unidad remota.

CAMARAS : Construcción subterránea destinada a alojar empalmes y facilitar la instalación de cables, unidos por tramos de canalización.

CANALIZACIÓN : Conjunto de ductos instalados en el sub-suelo, para facilitar el tendido, retiro, protección y mantenimiento de los cables.

CENTRAL - CABECERA : Centro de conmutación al que están conectadas las unidades remotas, y a través del cual se establecen los enlaces entre centrales.

GABINETEAR : Trasladar información de campo que sirve como base para la elaboración de plano.

HRI : Hoja de Registro Integral

MANZANA : Terreno urbano, este o no edificado, circunscrito por calles por sus cuatro lados.

MDF(Main Distribution Frame) : Repartidor de una oficina central en donde llega por un lado (vertical), los pares de los cables locales y de enlace y por otro lado (horizontal) los circuitos de la central local. Esta diseñado para cualquier par del cable local, se puede conectar por medio de puentes con cualquiera de los circuitos de la oficina local.

ODF: Optical Distribution Frame (Tablero de Distribución Óptico)

POSTE : Elemento de planta externa que sirve de apoyo para instalar los cables y líneas de acometida en la red aérea, pueden ser de concreto, madera, acero u otros materiales y en longitudes de 7, 9, 11 y 14 Metros.

P4 MULTIPAR : Redes Multipar

P4 CATV : Redes de CATV(Señal de cable mágico)

PLANO LLAVE: Plano de una central o ura en el cual aparecen las manzanas y las avenidas, avenidas y calles.

RED PRIMARIA : Conjunto de cables que salen del repartidor principal y atienden a una determinada zona dentro del área de influencia de una central que a su vez se distribuyen en los cables de distribución.

RED SECUNDARIA : Conjunto de cables unidos a un cable alimentador o armario que, que sirve para la distribución del mismo en su área de atención.

TERMINAL : Punto de conexión entre los pares secundarios o directos, con la línea de acometida.

TDP: Telefónica del Perú S.A

TSP : Traveling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero)

URA (Unidad Remota de Abonado) : Sistema de conmutación instalado en un punto alejado de la oficina central, cuyo objetivo es satisfacer la demanda Telefónica en lugares distantes, enlazándola con la central vía cable multipar o fibra óptica, minimizando la inversión en obras de canalización, tendido y conexionado de red externa.

RED DE PLANTA EXTERNA.- conjunto de cables, armarios de distribución, terminales cámaras, canalización, postes.

4.2 CASO DE ESTUDIO

4.2.1 DESCRIPCION ACTUAL DEL TRABAJO EN CAMPO

Actualmente el Área de Diseño en Itete Peru S.A realiza el trabajo de actualización del catastro y redes sin un Planeamiento establecido para cubrir el área de acción de la zona a actualizar, el personal de campo encargado del levantamiento de información no cuenta con una ruta preestablecida que les indique como pueden cubrir el area de la zona de trabajo.

Actualmente el proceso de levantamiento de información de campo para la Actualización de la Cartografía y Redes Existentes es realizado de la siguiente manera:

- Si existe el archivo digital de esa zona se imprimen los planos con la información del catastro de la zona y las redes para que el personal de campo verifique la información que esta digitalizada.
Al realizar el corte de los planos el problema que se presentan es que hay zonas que se duplican y esas zonas son evaluadas en campo por dos personas diferentes que no se percatan de ello hasta cuando terminaron de hacer el trabajo y se revisan los planos para proceder a su digitalización.
- Se hace un Plano llave de la zona de la cual se requiere para levantar la información en campo, este plano contiene las manzanas, las avenidas y calles para la ubicación del personal de campo.
- Se entrega el plano llave ploteado al personal que realizará el trabajo.
- Se le asigna a cada personal de campo los planos que irán a levantar.
- En caso de contar con movilidad disponible se los lleva a la zona de trabajo.

4.3 DESCRIPCION DE CARTA DE ADJUDICACION

La carta de adjudicación es un medio escrito y formal por el cual TDP S.A. adjudica a las empresas colaboradoras la relación de proyectos que se les ha sido asignado para su ejecución y el cronograma de entregas.
Cuando TDP S.A. entrega una carta de adjudicación también entregan los archivos digitales y planos donde se han efectuado nuevos trabajos de ampliación de red hasta la fecha para que estos también puedan ser actualizados.

4.4 ASIGNACION DE ZONAS DE TRABAJO

La asignación de las zonas de trabajo es dado por TDP S.A. Para el mejor control de sus redes TDP S.A ha dividido al Perú en las siguientes zonas:

- ZONA 1 : NORTE DEL PERU

Comprende las siguientes zonas

Zonal de Piura, Zonal de Chiclayo, Zonal de Trujillo, Zonal de Chimbote

- ZONA 2 : CENTRO DEL PERU

Comprende las siguientes zonas

Zonal de Huancayo, y Zonal de Cuzco

- ZONA 3 : SUR DEL PERU

Comprende las siguientes zonas

Zonal de Ica, Zonal de Arequipa, Zonal de Tacna

- ZONA 4 : ORIENTE DEL PERU

Comprende las siguientes zonas

Zonal de Iquitos

- ZONA 5 : LIMA Y LIMA SUR

Comprende los distritos de Lima y las playas del sur

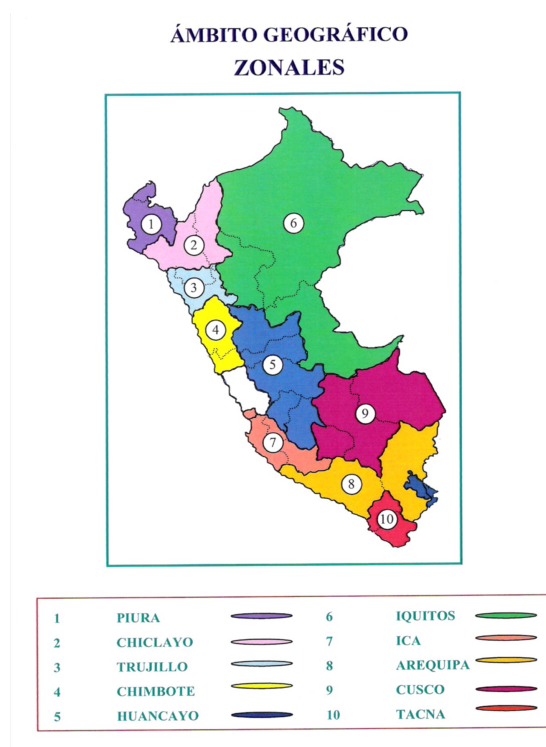


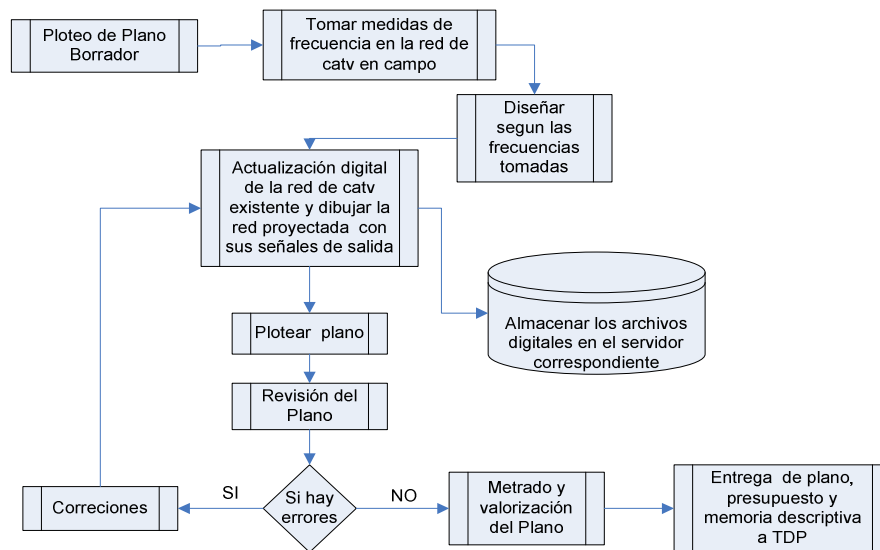
Figura 11. División del Perú según Zonas de TDP S.A

Cada zona es asignada a una empresa colaboradora según el contrato vigente para ese año, y todos los trabajos (Planta externa, averías, instalaciones) con respecto a las redes de TDP S.A. que se realicen en la zona son responsabilidad de la empresa colaboradora.

4.5 TRABAJOS REALIZADOS EN EL AREA DE DISEÑO

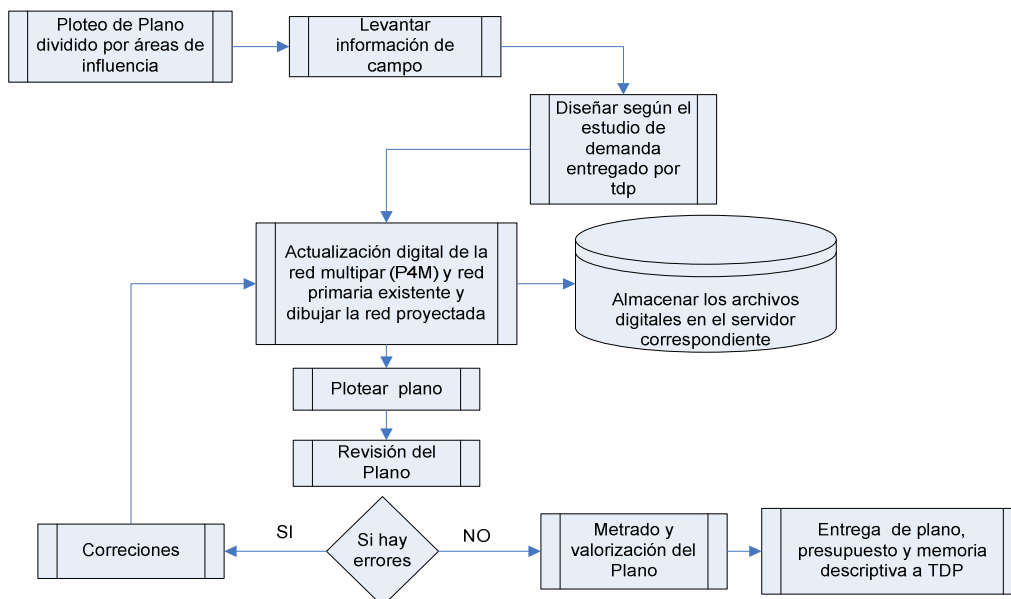
4.5.1 DISEÑO DE REDES DE CATV

El siguiente diagrama muestra el proceso a seguir en el diseño de redes de catv



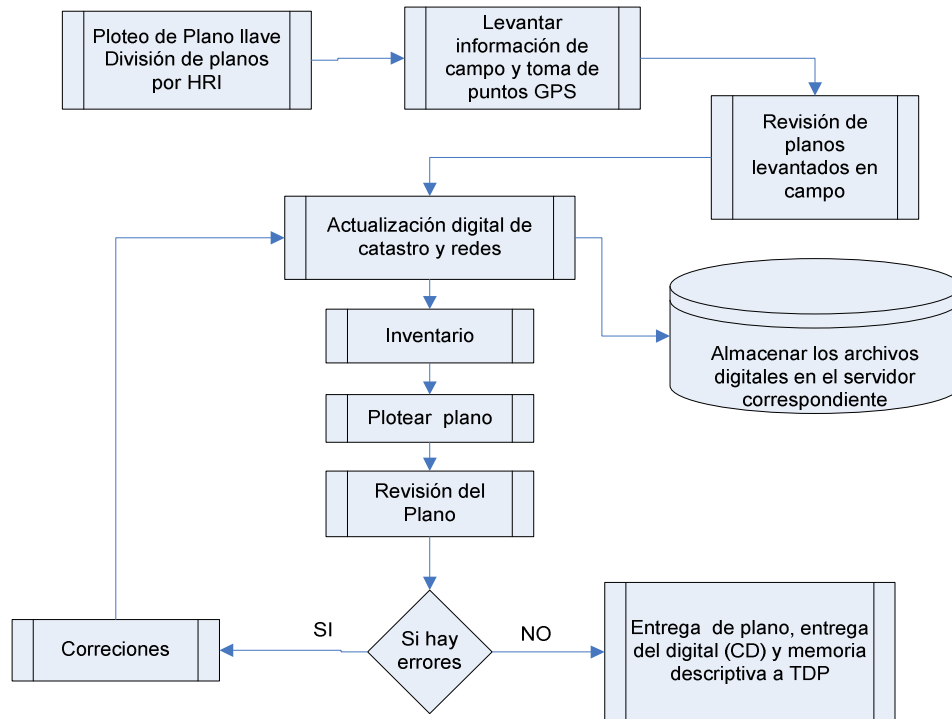
4.5.2 DISEÑO DE REDES MULTIPAR

El siguiente diagrama muestra el proceso a seguir en el diseño de redes multipar



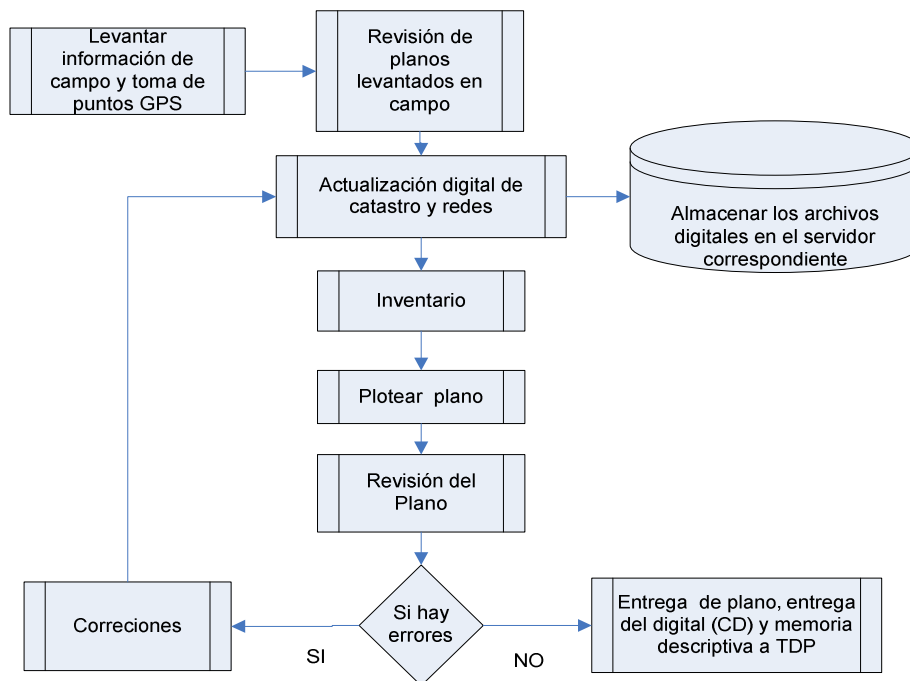
4.5.3 LEVANTAMIENTO INTEGRAL

El siguiente diagrama muestra el proceso a seguir en el levantamiento integral



4.5.4 LEVANTAMIENTO BASICO

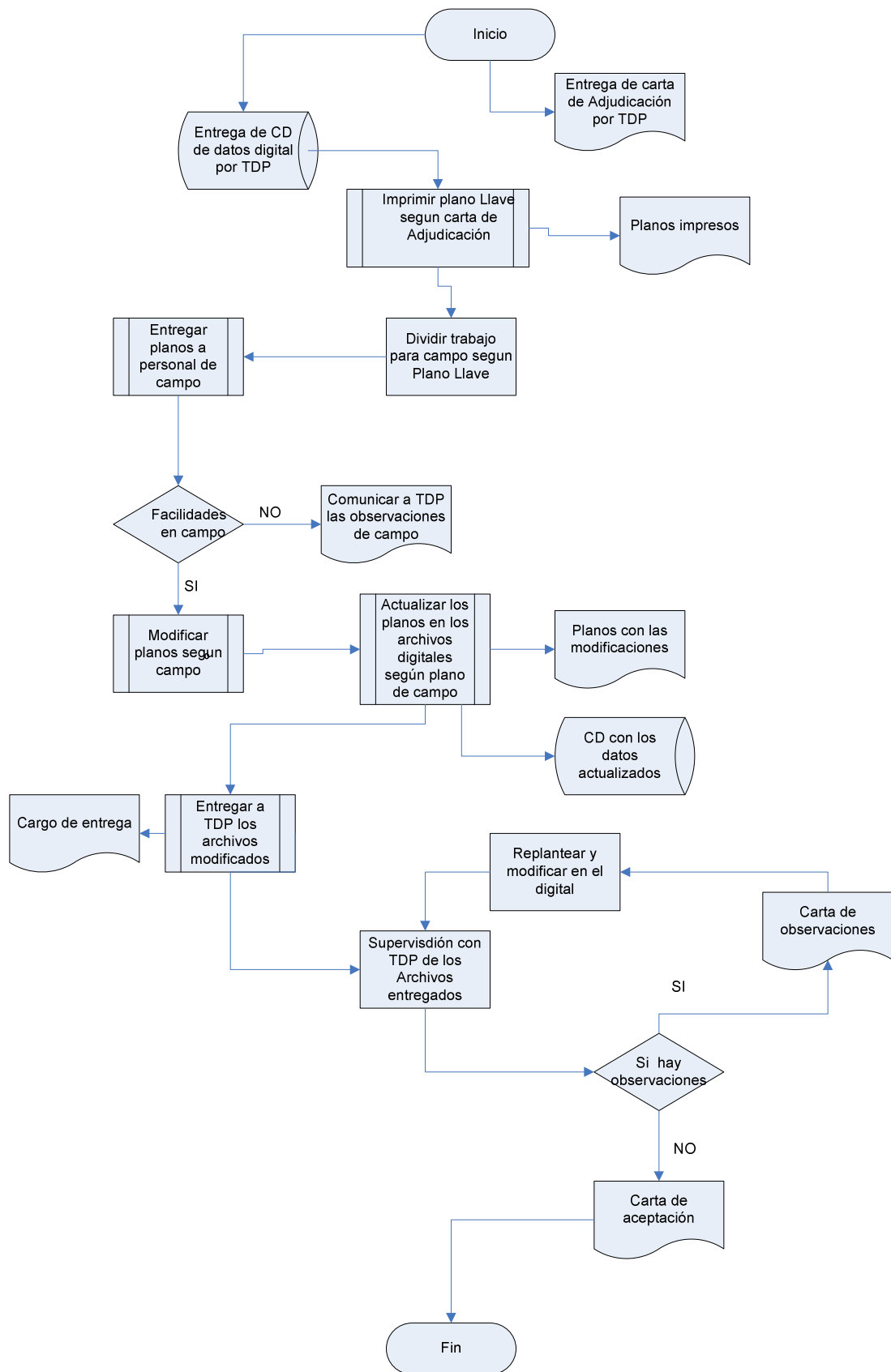
El siguiente diagrama muestra el proceso a seguir en el levantamiento básico



4.6 ACTUALIZACION DE LA CARTOGRAFIA.

Toda actualización de cartografía se realiza según las especificaciones técnicas proporcionadas por TDP S.A., la zona de levantamiento cartográfico será indicado por personal de TDP S.A. En el caso de existir planos de proyectos que necesiten actualización cartográfica estas serán entregados por TDP S.A para su evaluación, a fin de aceptar o rechazar tal calificación en los trabajos a realizar y posteriormente valorizar.

En caso de encontrar postes que existen en el archivo digital pero se encuentran mal ubicados o con una numeración equivocada, los nuevos postes con su ubicación real y la corrección deberán consignarse en el archivo digital actualizado.



4.6.1 SITUACION ACTUAL DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

El levantamiento de información se realiza de una manera informal, el personal de campo es el que define su ruta de trabajo de acuerdo a los planos que se les asigna, sin tener información de las distancias entre un punto y otro de la infraestructura que se necesite levantar. En el siguiente diagrama de secuencia se muestra la situación actual del levantamiento de información de campo.

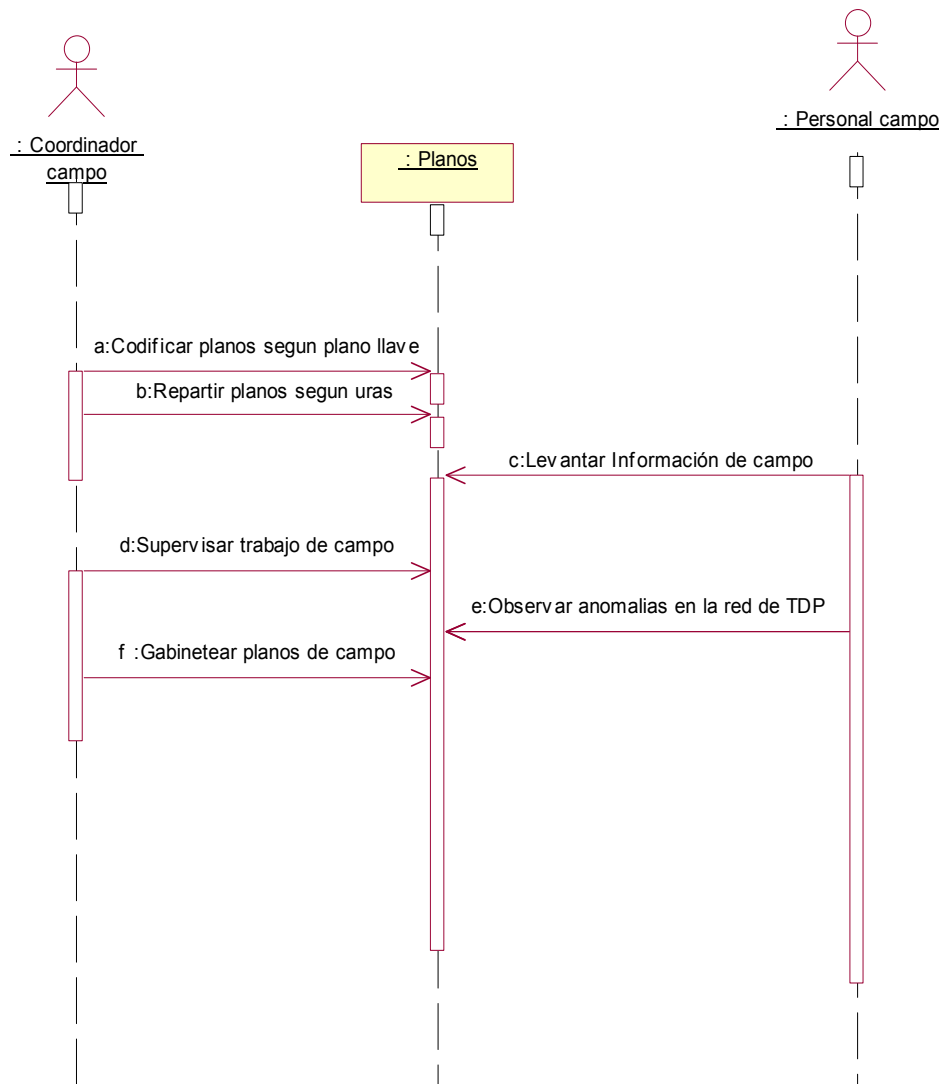


Figura 14. Diagrama de secuencia del levantamiento de información de campo

4.6.2 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo consiste en verificar los datos con respecto a los planos que han sido impresos del archivo digital proporcionado por TDP S.A, si los datos del plano coincide con lo que se observa en campo entonces se procede a poner un check de verificación de los datos, si los datos de los planos difieren con lo que se encuentra en campo entonces se cambian los datos con lo que se observa en campo, si se encontrara ampliación de las redes entonces se procede a dibujar las redes.

El levantamiento de campo implica el levantamiento catastral (verificación de la demanda), levantamiento de infraestructura como postes, riostras, anclas, cámaras, Levantamiento de locales de TDP S.A como las centrales y las uras.

Para el levantamiento de las cámaras se procede a llenar los siguientes formatos:

- Formatos de cámaras. Se dibuja la cámara y como es su distribución por dentro
- Cartilla de cámaras. Se describe todos los cables que están dentro de la cámara

Para el levantamiento de los locales de TDP S.A es necesario contar con los permisos correspondientes que son concedidos por TDP S.A.

4.6.3 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION PARA PERSONAL DE CAMPO

- Se debe revisar y levantar totalmente en campo la información necesaria de la totalidad de la red instalada por TDP S.A(incluyendo la red instalada dentro de edificios públicos o privados).
- Registrar en el plano todos los dispositivos en el lugar exacto donde estos se encuentren(postes , cámara) utilizando la simbología indicada en las especificaciones técnicas.
- Registrar en el plano la conectividad de los elementos, tal y como se encuentran instalados en campo.
- Identificar los dispositivos de monitoreo. Registrarlo en el plano según la simbología correspondiente.
- Identificar el tipo de cable instalado, registrarlo en el plano utilizando el tipo de línea adecuado (fibra óptica, coaxial subterráneo , coaxial aéreo),

registrar textualmente en el plano el tipo de cable instalado según el calibre, la longitud del tramo en metros.

- Registrar la ocupación de los cables coaxiales instalados en las cámaras
- Identificar y registrar los postes y anclas en sus diversos tipos que soporten a la red, registrando textualmente el número de poste.
- Registrar en el plano todas las observaciones del levantamiento de campo.

4.6.4 PLANOS CON INFORMACION DE CAMPO

- Registrar el número de HRI, central y distrito que lo identifique en el caso de planos de red multipar.
- Registrar el número de troba, nodo y distrito que lo identifique en el caso de planos de red de catv
- Registrar la fecha de la ejecución de los trabajos en campo.
- Los detalles de la red dentro de edificios se debe representar con vistas y dimensiones referenciales de ubicación así como de la infraestructura-estructura.
- Los textos deben ser legible y con letra imprenta.
- Contener cartografía y catastro (manzana, calle, lotes), nombre de vialidades, así como número de manzana municipal, nombre de manzana telefónica, dirección municipal y/o de lotización, nombre de edificios, etc(Según sea el caso incluir nombre de clientes importantes: Empresa, Negocios, etc)
- Contener postes, número de poste, anclas, cámara, número de cámaras.
- Contener las rutas de los cables: Longitud real de cable instalado, tipo de cable, año de instalación del cable, especificar la parte aérea y subterránea. Para el caso de cable subterráneo indicar los cortes de los tramos de canalización.

4.6.5 REVISION DE LA INFORMACION DE CAMPO

Una vez levantada la información de campo se procede a revisar los planos, cuadrar las redes, cuadrar las cámaras con la red primaria, si hubiese lugares donde no se pudo ingresar para ver las redes como es el caso de los edificios, se hace un listado de los lugares de difícil acceso y se le envía por email a TDP S.A., para que cuando se supervise el trabajo no sea un motivo de observación.

4.6.6 ACTUALIZACION DE ARCHIVOS DIGITALES

Luego de ser revisados los planos pasan a digitalizarse de acuerdo a las normas técnicas establecidas por TDP S.A. e indicados en los manuales técnicos, la parte grafica se digitaliza en Microestación .

Se empieza actualizando el catastro, la demanda y las avenidas, terminada la actualización catastral se procede a actualizar las redes secundarias y primaras, lo siguiente a actualizar son las cámaras, las canalizaciones y los locales de TDP S.A.

4.6.7 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION PARA EL PERSONAL DE DIGITACION

- Actualizar en el archivo digital la delimitación perimétrica del área de la parcela o lote, desde la delimitación del lote.
- Actualizar en el archivo digital todas las manzana que han sido modificadas en sus limites y las manzanas nuevas en las zonas.
- Actualizar en el archivo digital todas las áreas verdes que han sido modificadas y las áreas verdes nuevas en la zona.
- Actualizar en el archivo digital la representación de los contornos de las avenidas en las zonas que por sus características carezcan de manzana y por consiguiente, solo existiera la pista.
- Actualizar en el archivo digital las líneas de autopista y ferrocarriles que han sido modificadas y aquellas que sean nuevas.
- Actualizar en el archivo digital todos los nombres de plazas, plazuelas, campos deportivos, áreas de recreación, puentes, áreas arqueológicas que han sido modificadas y nuevas.
- Levantar en campo y actualizar en el archivo digital todos los conjuntos habitacionales, condominios.
- Actualizar en el archivo digital los postes, anclas, canalizaciones y cámaras que soportan a la red que no se encuentran en el archivo digital entregado por TDP S.A, tienen que ser registrados según las especificaciones Técnicas.
- Todos los elementos que se encuentren dentro del área de trabajo deberán ser modificados en el archivo digital para que cumpla con las especificaciones técnicas de TDP S.A.
- Se deberá actualizar, gráficamente y en la Base de datos todos los elementos relacionados a las modificaciones de cartografía

4.6.8 DE LOS DATOS ALMACENADOS

- Los datos que se vinculan con la parte grafica se almacenan en Access.
- Todas las bases de datos tienen la misma estructura, lo que las diferencia una de otra es el nombre y la información que almacenan.
- El nombre que se le asigna a la base de datos es de acuerdo a las siglas de la central de la cual se desarrolla el proyecto, los datos que se almacenan son los son siguientes:
 - ❑ Nombres de calles, avenidas
 - ❑ Número de armarios
 - ❑ Número de trobas.
 - ❑ Número de caja terminales.
 - ❑ Número de manzana municipal
 - ❑ Número de manzana telefónica
 - ❑ Nombre de la central
 - ❑ Distrito

4.6.9 CONTROL Y AVANCE DE PROYECTOS

Los planos de los proyectos digitalizados se reportan semanalmente, considerando la semana de 6 días.

En el control de avance se reportara a TDP S.A., la actualización de la cartografía indicando el número de manzanas por URA.

4.7 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.7.1 DETERMINACION DE DISTANCIAS

Para la determinación de las distancias usamos los archivos digitales que han sido migrados a autocad, dentro del cual se encuentra dibujado a escala las avenidas, calles, manzanas, las redes multipar, las redes de catv, la infraestructura (postes, cámaras, dispositivos) con una determinada simbología, según las normas técnicas de TDP S.A.

Para la implementación de nuestro proyecto usaremos la distancia entre los postes para obtener nuestra matriz de costos, para este caso en particular el costo esta representado por la distancia de ir de un poste a otro.

Para la demostración de nuestro proyecto obtendremos las distancias en el archivo digital de un sector del distrito de Miraflores y para ello procederemos de la siguiente manera:

- Se activan las capas de las manzanas capa 2
- Se activan las capas de las avenidas capa 24 y 27
- Se activan las capas de los postes capa 54
- Se activa la capa del HRI capa 58 y 61
- Se enumeran los postes del HRI en forma correlativa.

Una vez activadas las capas mencionadas procedemos a crear líneas en el medio de las calles y avenidas, la intersección de esas líneas serán nuestros puntos claves por lo cual se tiene que pasar para obtener las distancias entre dos postes. Estos puntos clave también serán enumerados en forma correlativa.

En la siguiente figura se muestra el proceso.

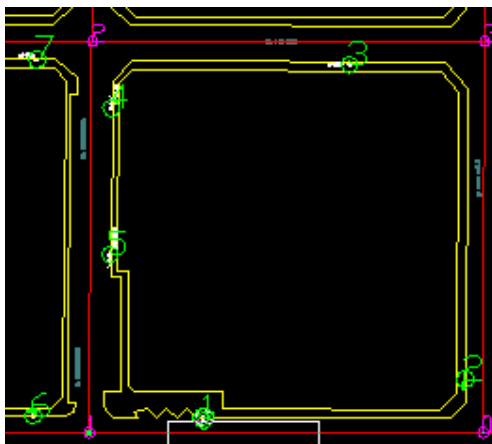


Figura. 15 Enumeración de Postes y Puntos

DATOS A GUARDAR

DATOS DEL POSTE: para guardar los datos del poste se crea la matriz llamada PtoClaPoste que es de tipo real, y en esta matriz se guardan los datos en forma temporal, luego estos datos se pasan a un archivo de Excel de nombre clavescuadrado en la hoja ptopostesc los datos que se guardan en esta hoja son:

1. El numero del poste
- 2 .La coordenada en x del poste

- 3 .La coordenada en y del poste
4. La coordenada en z del poste
5. La central a la cual pertenece

DATOS DEL PUNTO CLAVE: para guardar los datos de los puntos clave se crea la matriz llamada PtoCla que es de tipo real, y en esta matriz se guardan los datos en forma temporal y luego estos datos se pasan a un archivo de Excel de nombre clavescuadrado en la hoja ptoclaves los datos que se guardan en esta hoja son:

1. El numero del punto clave
- 2 .La coordenada en x del punto clave
3. La coordenada en y del punto clave
- 4 .La coordenada en z del punto clave

4.7.2 RECOLECCION DE DATOS

Para obtener la matriz de distancias usamos los datos almacenados en el archivo digital clavescuadrado. Los datos de la distancia de un punto a otro son guardados en el archivo Excel de nombre Distancia y los datos a guardar son

1. Punto de inicio
- 2 .Punto destino
- 3 .La distancia del punto de inicio al punto destino
- 4 .Distrito
- 5 .Nombre de la central

Este archivo es migrado a la base de datos en la tabla Distancia para ser usado posteriormente y elegir una ruta optima.

4.7.3 ANALISIS DE LA RECOLECCION DE DATOS

Para la demostración del proyecto se utilizaran manzanas cuadradas, para obtener la matriz de las distancias de un poste a otro se creyó conveniente hacer el recorrido de la distancia a través de los puntos claves que están ubicados en las esquinas de cada cuadra, para no obtener como distancia una diagonal que cruce la manzana ya que el personal de campo solo puede transitar por las calles, avenidas o jirones que circunscriben a la manzana.

4.7.4 METODO PARA LA DETERMINACION DE LAS DISTANCIAS ENTRE DOS POSTES.

El algoritmo usado para obtener la distancia mínima entre dos postes siguiente:

ALGORITMO DE DISTANCIA ENTRE DOS POSTES SIN CRUZAR UNA MANZANA

Inicio

PO= Punto origen

PD = Punto destino

PCD = **Determinar punto clave mas cercano** a PD por la derecha

PCD1 = **Determinar punto clave mas cercano** a PD por la izquierda

PCO= **Determinar punto clave mas cercano** a PO por la derecha

PCO1 = **Determinar punto clave mas cercano** a PO por la izquierda

poste destino con PCO ó PCO1

Guardar la distancia del PCD al Punto destino

Guardar la distancia del PCO al Punto origen

Guardar la distancia del PCO 1al Punto origen

Buscar el Punto de intersección entre PCD Y PCO

Guardar la distancia del PCO y punto de intersección

Hacer hasta encontrar el punto de PCD

Desde el punto de intersección buscar el siguiente punto clave que se acerque al PCD del punto destino

Guardar la distancia del punto de intersección al siguiente punto clave
fin hacer

Buscar el Punto de intersección entre PCD Y PCO1

Guardar la distancia del PCO1 y punto de intersección

Hacer hasta encontrar el punto de PCD

Desde el punto de intersección buscar el siguiente punto clave que se acerque al PCD del punto destino

Guardar la distancia del punto de intersección al siguiente punto clave
fin hacer

fin

4.7.5 METODO PARA DETERMINAR EL RECORRIDO

El método usado para determinar el recorrido es el algoritmo del vecino mas próximo [2]. El algoritmo usado es el siguiente:

ALGORITMO DEL VECINO MAS PROXIMO[2]

Inicio

 Seleccionar un vértice j al azar

 Hacer $t = j$ y $W = V \setminus \{j\}$

 Mientras($W \neq \emptyset$)

 Tomar $j \in W / c_{tj} = \min \{c_{ti} / i \in w\}$

 Conectar t a j

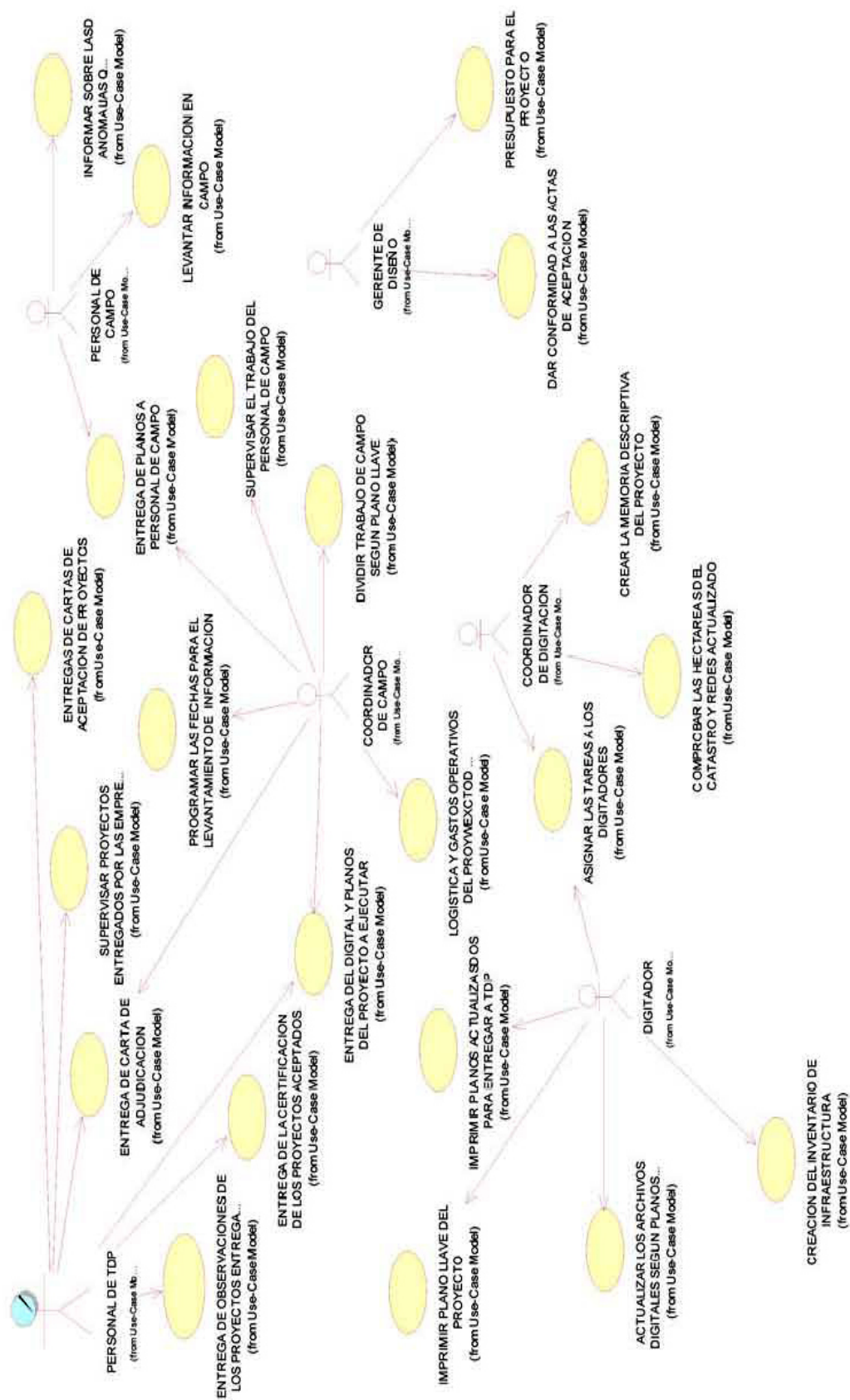
 Hacer $W = W \setminus \{j\}$ y $t = j$

Fin

4.7.6 SITUACION PROPUESTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

La propuesta para realizar el levantamiento de información consiste en el diseño e implementación de un Sistema de Optimización de Rutas el cual tendrá por entrada las distancias de ir de un poste origen a un poste destino y por salida una ruta que indique un recorrido con una menor distancia.

1. División del plano llave de la central de la cual se va a realizar el levantamiento de información.
2. Dibujar en el plano llave de ubicación la ruta que se obtuvo en el sistema de optimización.
3. Entregar los planos llave de ubicación con la ruta ya dibujada al personal de campo.



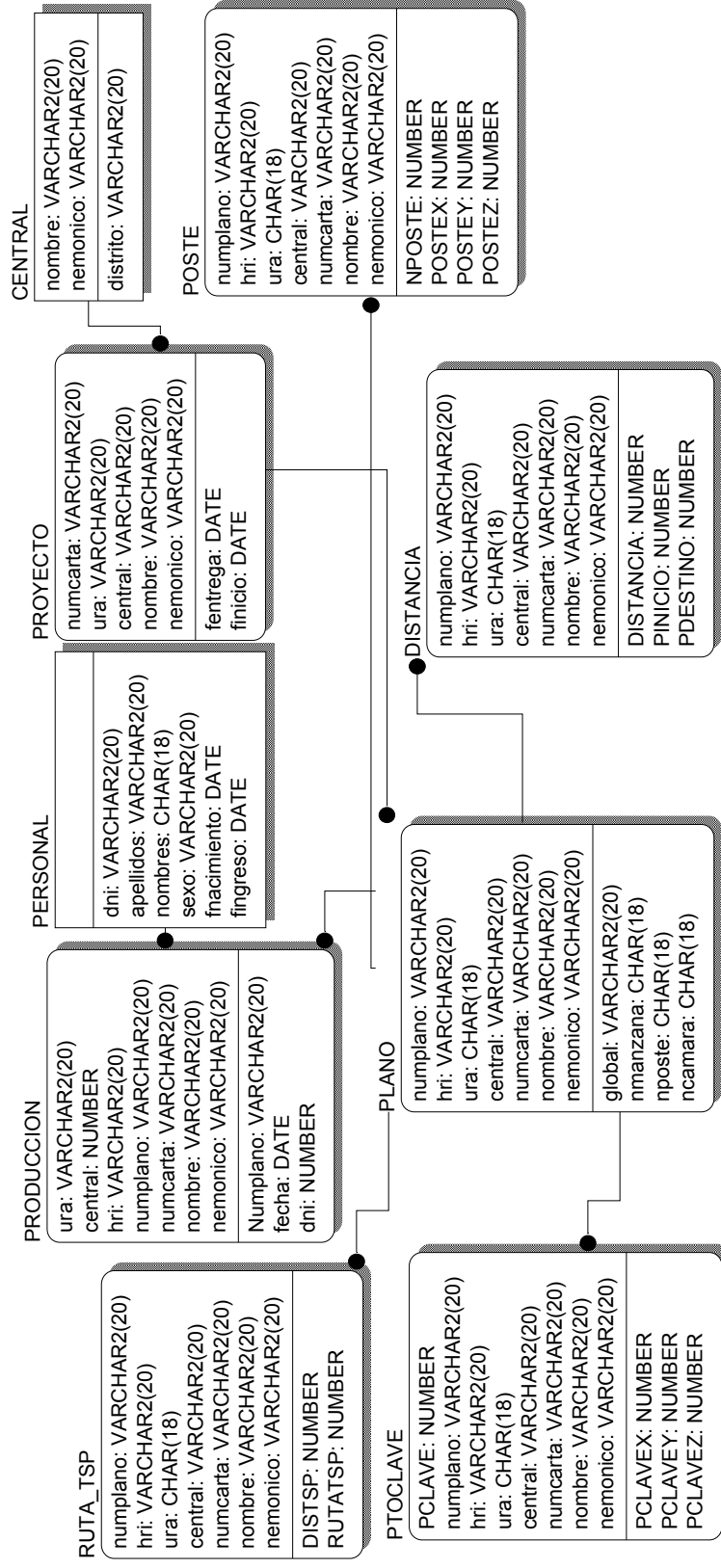


Figura 17. Modelo Fisico de datos

4.7.8 INTERFACE DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE OPTIMIZACION DE RUTAS

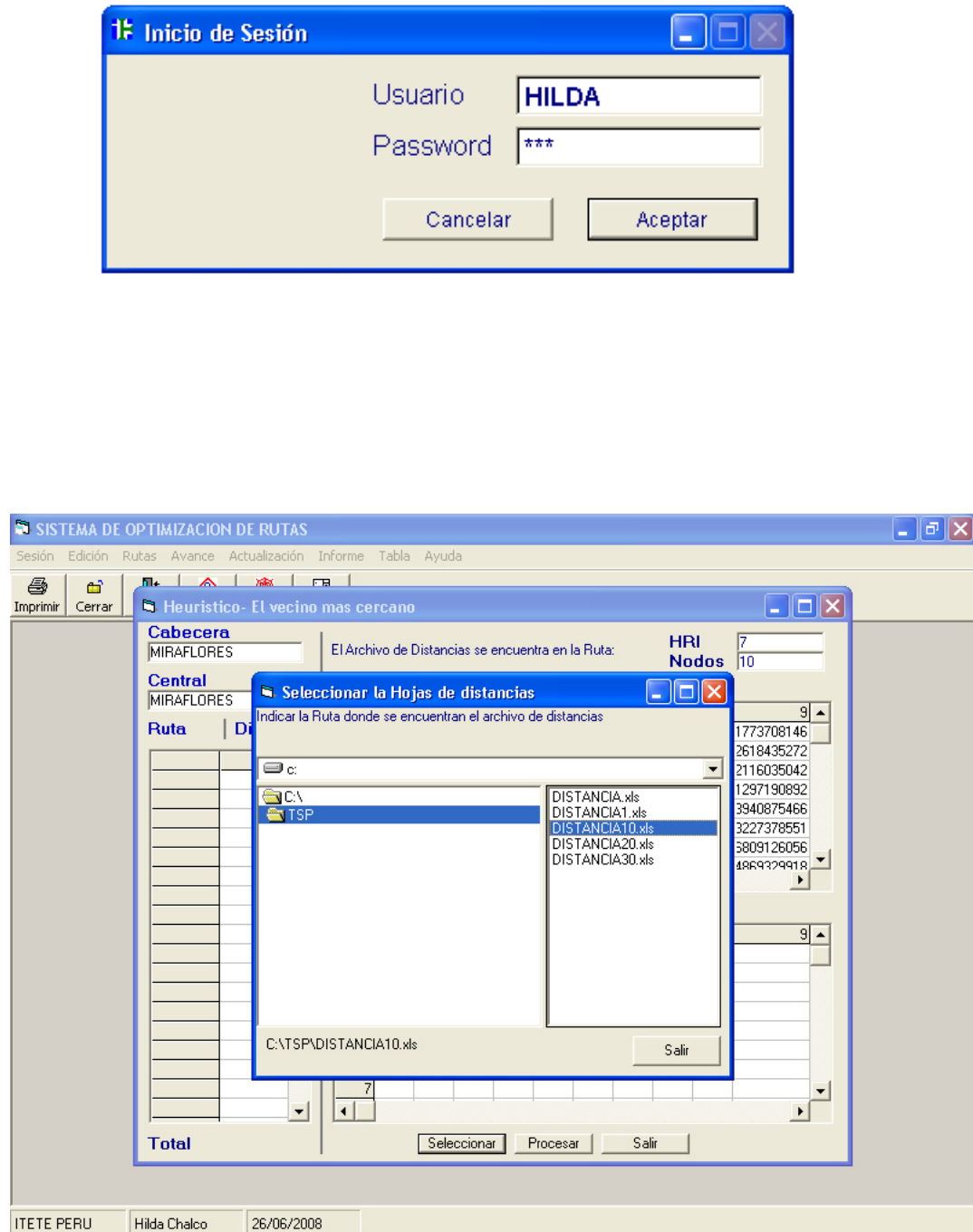


Figura 18. Interface para ubicar el archivo de distancias

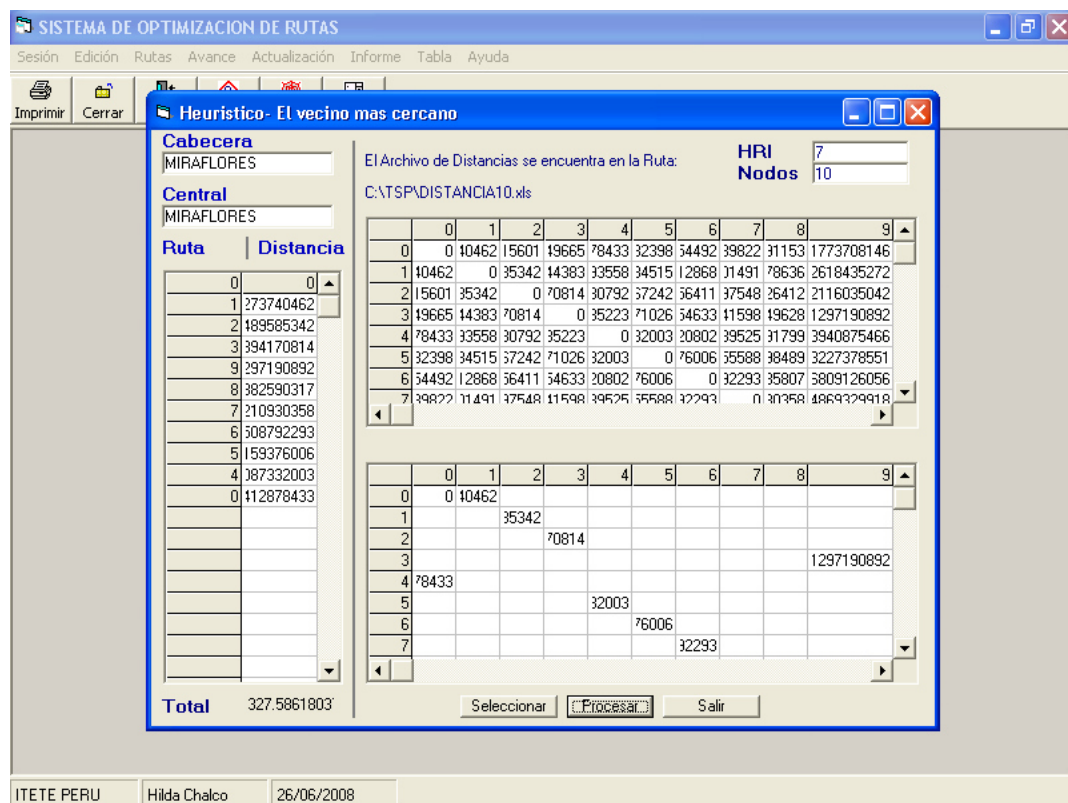


Figura 19. Datos que obtenidos cuando se utiliza el algoritmo del vecino mas cercano

4.7.9 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

La información que nos interesa obtener es la ruta que el personal de campo debe seguir para realizar en un menor tiempo el levantamiento de información. Con los datos que muestra la matriz de rutas se imprimirán los planos llaves (con sus respectivas calles, avenidas y con la numeración asignada a los postes) para que el personal de campo tenga una mejor referencia de la zona que se le ha sido asignada para el levantamiento de información.

INVOLUCRADO EN EL PROYECTO

[illegible]

Figura 20. Reporte del personal que trabajo en un determinado proyecto

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- Definir una ruta tentativa a seguir disminuye el tiempo del recorrido del personal de campo para levantar información ya que minimiza el recorrido de distancias pues evitaría recorrer la misma trayectoria mas de una vez.
- De acuerdo a la distancia que se obtiene según las rutas, se puede ir almacenando la longitud que es recorrida por el personal de campo en un determinado día, de tal forma que se pueda crear un historial para el control del trabajo, teniendo como parámetro su producción diaria
- Para evitar la duplicidad de asignación de la zonas que debe evaluar el personal de campo, la división del archivo digital del plano llave debe ser por HRI completo o por avenidas principales.
- Los postes que se encuentran en una misma cuadra se evaluarán como si se tratara de uno solo poste para evitar recorrer mas de una vez por la misma zona.
- Para el uso del sistema de optimización de rutas, como ya se ha mencionado anteriormente, se tiene que tener una matriz de distancias mínimas entre dos puntos para que la ruta sea más exacta.
- Este sistema permitirá reducir el tiempo que emplea el personal de campo en realizar llamadas al personal de digitación un promedio de 5 o 10 minutos hasta que el personal de campo obtenga respuesta requerida.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

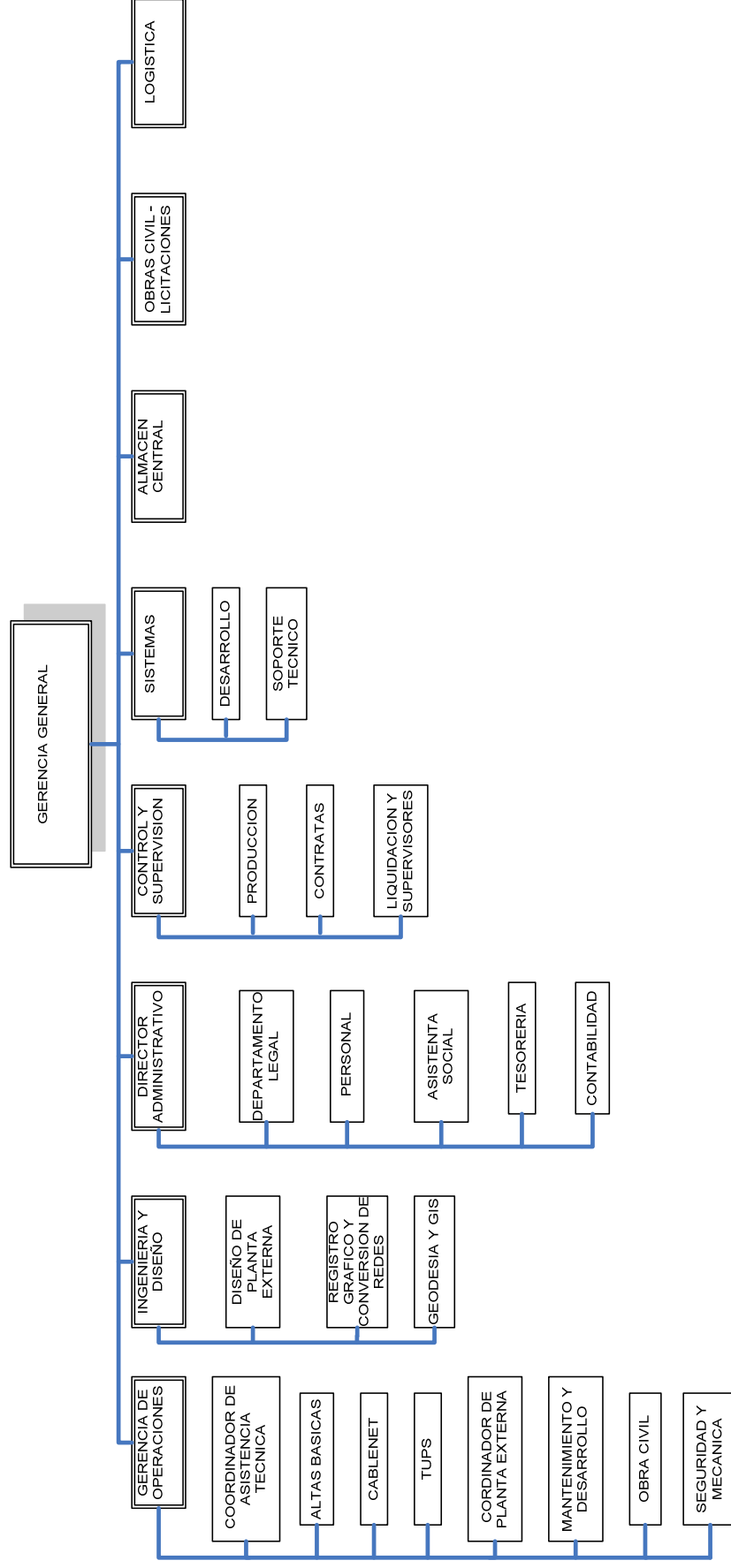
- Si el poste de inicio y el poste de origen se encuentran en diferentes manzanas y dentro de ese trayecto se encuentran postes entonces el personal de campo debe considerar esos postes en su recorrido para evitar que se recorran esas distancias más de una vez.
- Para evitar confusiones en campo por la diversidad de postes que se encuentran ya sea por empresas de telecomunicación o eléctricas, en caso de duda del personal de campo debe seguir la red aérea.
- Para facilitar la ubicación de las zonas de trabajo se podría implementar un sistema georeferenciado.
- Esta trabajo esta orientado a encontrar las distancias en manzanas cuadradas , si las manzanas son de forma irregular el algoritmo no funcionara.

ANEXOS.

1 Organigrama de la empresa Itete Peru S.A.

Figura 21 Organigrama de la empresa Itete Peru S.A.

ORGANIGRAMA DE ITETE PERU S.A



2 Relación de cuadros y figuras presentadas en la tesina.

Cuadro1	Métodos de Solución Iterativos	Pag. 21
Figura 1.	Ciclo Hamiltoniano	Pag. 23
Figura 2.	Selección de vértice a insertar	Pag. 30
Figura 3.	Inicio del Recorrido del Método del Prim	Pag. 31
Figura 4.	Ruta Óptima después de la Adaptación del Prim	Pag. 32
Figura 5a.	Subtours iniciales	Pag. 33
Figura 5b.	Subtours iniciales	Pag. 33
Figura 6.	Unión de vértices para formar un camino 2-Opt	Pag. 35
Figura 7.	Un problema TSP Simétrico de 5 ciudades	Pag. 37
Figura 8.	Arista mejorada de un problema TSP simétrico para 5 ciudades	Pag. 38
Figura 9.	Otro par de aristas mejoradas	Pag. 39
Figura 10.	Ruta óptima después de 2-Opt	Pag. 39
Figura 11.	División del Perú según zonas de TDP.	Pag. 43
Figura 12.	Diagrama de caso de uso del área de Ingeniería y Diseño	Pag. 47
Figura 13.	Diagrama de flujo de datos del Área de Ingeniería y Diseño	Pag. 48
Figura 14.	Diagrama de secuencia del levantamiento de información de campo	Pag. 49
Figura 15.	Enumeración de Postes y Puntos claves	Pag. 54
Figura 16.	Modelo lógico de datos	Pag. 59
Figura 17.	Modelo físico de datos	Pag. 60
Figura 18.	Interface para ubicar el archivo de distancias	Pag. 61
Figura 19.	Datos que obtenidos cuando se utiliza el algoritmo del vecino más cercano	Pag. 62
Figura 20.	Reporte del personal que trabajó en un determinado proyecto	Pag. 63
Figura 21.	1 Organigrama de la empresa Itete Perú S.A.	Pag. 66

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bibliografías tomadas de Libros y tesis

- Handy a. Taha Investigación de Operaciones 7ma. Edición-2004
- Hillier- Liberman Introducción a la I.O 8va. Edición
- Wayne L.-Winston Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos
- Bogg, G Análisis y Diseño Orientado a Objetos con Aplicaciones.
Ed. Addison Wesley Iberoamericana

[3] Riojas Cañari, Alicia Cirila Tesis Búsqueda Tabú Conceptos, métodos y algoritmos aplicados al problema de las n reinas

2. Bibliografías tomadas de internet(Word Wide Web)

- [1] <http://decsai.ugr.es/~castro/CA/node24.html> Complejidad Algorítmica Juan Luis Castro Peña. Depto. Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad de Granada. 1999.
- [2] Marti, Rafael Procedimientos Metaheurísticos en optimización combinatoria <http://www.uv.es/~rmarti/>
- [4] Castañeda Roldan , Carolina Yolanda Estudios Comparativos de diversos métodos de Solución del Agente Viajero Tesis de Maestría. Ciencias con Especialidad en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.
- [5] <http://www.iwr.uniheidelberg.de/iwr/comopt/soft/TSPLIB95/TSPLIB.html> Variaciones del Problema del Agente Viajero. Pablo Moscato's Home Page. Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 1999.
- [6] Michael. R. Garey / David.S. Johnson: Computers and Intractability A Guide to the theory of NP-Completeness ; W.H. Freeman and Co., New York, 1979.
- [7] A.V. Aho, J.E. Hopcroft y J.D. Ullman: The Design and Analysis of Computer Algorithms. Addison Wesley. 1974.
- [8] José Arreola. Notas de la Materia Análisis y Diseño de Algoritmos. Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales. 1996.

